



**NIVEL DE REFERENCIA DE  
EMISIONES FORESTALES DE  
MÉXICO  
(2007-2016)**



**Enero 2020**

# NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES DE MÉXICO (2007-2016)

México, Enero 2020

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece especialmente al equipo de la Unidad Técnica Especializada en Monitoreo, Reporte y Verificación, de la Gerencia del Sistema Nacional de Monitoreo Forestal, Coordinación General de Planeación e Información de la Comisión Nacional Forestal por la elaboración del presente documento.

## RESUMEN EJECUTIVO

<b>NREF propuesto</b>	20,339,240 ton CO <sub>2</sub> ed/año
<b>Tipo y periodo de referencia del NREF</b>	Promedio histórico 2007-2016
<b>Ajustes al NREF por circunstancias nacionales</b>	No aplica
<b>Escala espacial</b>	Nacional
<b>Actividades REDD+ incluidas</b>	(a) <i>Reducción de emisiones por deforestación</i> (contabilidad de GEI: deforestación bruta)  Parcialmente (b) <i>Reducción de emisiones por degradación forestal</i> (contabilidad de GEI: degradación forestal absoluta)
<b>Reservorios incluidos</b>	Biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta y carbono orgánico de suelos
<b>Gases incluidos</b>	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )
<b>Definición de bosque</b>	Tierras forestales con una cobertura de dosel superior al 10%, con especies leñosas de más de 4 metros de altura, o capaces de alcanzar dicha condición in situ, y con una extensión mínima de 1 ha.
<b>Consistencia con el último Inventario de GEI</b>	Cambios metodológicos, pero no se identifican contradicciones entre ambos reportes.
<b>Descripción de las políticas y planes relevantes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estrategia Nacional de Cambio Climático</li> <li>- ENAREDD+</li> <li>- Proyecto de Bosques y Cambio Climático</li> <li>- PRONAFOR 2019-2024</li> <li>- Estrategia Nacional de Manejo Forestal Comunitario</li> </ul>
<b>Descripción de los supuestos sobre cambios futuros a las políticas nacionales</b>	No aplica
<b>Descripción de los cambios con respecto al NREF previo</b>	Se presenta cuadro comparativo y a lo largo del documento se explican los cambios
<b>Identificación de futuras mejoras técnicas</b>	Se presenta capítulo específico y a lo largo del documento se identifican futuras mejoras técnicas

## EXECUTIVE SUMMARY

<b>Proposed FREL</b>	20,339,240 ton CO <sub>2</sub> <sub>ed</sub> /year
<b>Type and reference period of FREL</b>	Historical average 2007-2016
<b>Application of adjustment for national circumstances</b>	It does not apply
<b>Spatial scale</b>	National
<b>Activities included</b>	(a) <i>Reducing emissions from deforestation</i> (GHG accounting: gross deforestation)  Partially (b) <i>Reducing emissions from forest degradation</i> (GHG accounting: absolute forest degradation)
<b>Pools included</b>	Aboveground biomass, belowground biomass, dead wood and Soil Organic Carbon.
<b>Gases included</b>	Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )
<b>Forest definition</b>	Forest Lands with canopy cover greater than 10%, with woody species over 4 meters high, or capable of reaching that high, and with a minimum surface of 1 ha.
<b>Consistency with latest GHG inventory</b>	Methodological changes, but no contradictions between the two reports are identified.
<b>Description of relevant policies and plans</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- National Climate Change Strategy</li> <li>- National REDD+ Strategy</li> <li>- Forest and Climate Change Project</li> <li>- National Forestry Program 2019-2024</li> <li>- National Community Forest Management Strategy</li> </ul>
<b>Description of assumptions on future changes to domestic policies</b>	It does not apply
<b>Description of changes to previous FREL</b>	Comparative table is presented and the changes are explained throughout the document.
<b>Identification of future technical improvements</b>	Specific chapter is presented and future technical improvements are identified throughout the document

# CONTENIDO

ACRÓNIMOS.....	8
Índice de cuadros.....	10
Índice de Figuras.....	11
1. INTRODUCCIÓN.....	13
2. CIRCUNSTANCIAS NACIONALES .....	14
2.1. Características geográficas y biofísicas de México.....	14
2.2. Recursos forestales de México.....	17
2.3. Características socioeconómicas del sector forestal.....	18
2.4. Indicadores sobre manejo forestal sustentable en México.....	18
2.5. Deforestación y degradación forestal en México .....	19
2.6. Marco legal sobre bosques y cambio climático .....	21
2.8. Arreglos institucionales de MRV para REDD+ .....	25
3. ANTECEDENTES DEL ACTUAL NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES.....	26
3.1. Los Inventarios Nacionales de Emisiones de GEI y el primer NREF .....	26
3.2. El Sistema Satelital de Monitoreo Forestal de México .....	29
3.2.1. Enfoque Wall to Wall.....	29
3.2.2. Enfoque de muestreo sistemático para el NREF .....	31
3.3. Enfoque escalonado para evaluar la dinámica de la cobertura forestal en México.....	32
4. INFORMACIÓN TRANSPARENTE, COMPLETA, COHERENTE Y EXACTA .....	32
4.1. Transparencia .....	32
4.2. Completitud.....	33
4.3. Coherencia o consistencia .....	33
4.4. Exactitud.....	33
5. DEFINICIONES.....	34
5.1. Definición de bosque.....	34
5.1.1. Definición legal.....	34
5.1.2. Definición IPCC.....	34
5.1.3. Definición operativa .....	34
5.1.4. Nivel de Consistencia con Reportes Nacionales Anteriores.....	37
5.2. Definición de deforestación .....	38
5.2.1. Definición legal.....	38
5.2.2. Definición IPCC.....	38
5.2.3. Definición operativa .....	38
5.2.4. Nivel de Consistencia con Reportes Nacionales Anteriores.....	38
5.3. Definición de degradación forestal.....	39
5.3.1. Definición legal.....	39
5.3.2. Definición operativa .....	39
6. ALCANCES DEL NREF .....	41

6.1. Escala espacial.....	41
6.2. Periodo de referencia .....	42
6.3. Actividades REDD+ .....	44
6.4. Reservorios de Carbono.....	46
6.5. Gases.....	47
7. ENFOQUE METODOLÓGICO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES.....	47
8. SUPERFICIES DE TIERRAS FORESTALES Y SU DINÁMICA.....	51
8.1. Área de contabilidad.....	51
8.2. Enfoque metodológico de estimación.....	52
8.3. Resultados de la dinámica de la superficie de Tierras Forestales de México.....	56
9. EXISTENCIAS DE CARBONO EN LAS TIERRAS FORESTALES DE MÉXICO.....	64
9.1. Enfoque metodológico de estimación .....	64
9.2. Resultados de las existencias de Carbono en las Tierras Forestales de México .....	68
9.2.1. Contenidos de Carbono forestal por unidad de superficie .....	68
9.2.2. Existencias de Carbono en las Tierras Forestales de México por ecorregión y reservorio .....	73
10. EMISIONES POR DEFORESTACIÓN Y DEGRADACIÓN FORESTAL ABSOLUTA.....	80
10.1. Enfoque de estimación .....	80
10.1.1. Estimación de emisiones totales.....	80
10.1.2. Estimación de emisiones por Degradación.....	82
10.1.3. Estimación de emisiones por Deforestación .....	83
10.2. Resultados.....	84
10.2.1. Emisiones brutas de las Tierras Forestales.....	84
10.2.2. Emisiones por degradación forestal absoluta.....	89
10.2.3. Emisiones por deforestación bruta.....	92
10.2.4. Emisiones de Carbono por deforestación bruta y degradación forestal absoluta .....	93
11. NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES.....	94
11.1. Ajuste por circunstancias nacionales.....	94
11.2. Nivel de Referencia de Emisiones Forestales 2007-2016.....	94
11.3. Análisis de incertidumbre .....	96
12. ÁREAS DE MEJORA Y FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES.....	97
13.1. Áreas de Mejora .....	97
13.1. Fortaleciendo de capacidades.....	98
14. REFERENCIAS.....	99

## ACRÓNIMOS

<b>6ª CN</b>	Sexta Comunicación Nacional
<b>AH</b>	Asentamientos Humanos
<b>ANP</b>	Áreas Naturales Protegidas
<b>ATP</b>	Auditoría Técnica Preventiva
<b>AWS</b>	Amazon Web Service
<b>BUR</b>	Informe Bienal de Actualización
<b>CDB</b>	Convenio sobre la Diversidad Biológica
<b>CF15</b>	15a Reunión del Fondo de Carbono
<b>CH4</b>	Metano
<b>CIMT</b>	Convenio Internacional de las Maderas Tropicales
<b>CITES</b>	Convención sobre el Comercio Internacional de ESpecies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres
<b>CMNUCC</b>	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
<b>CNULD</b>	Convención de Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación
<b>CO2</b>	Dióxido de Carbono
<b>CO2 eq</b>	Dióxido de Carbono Equivalente
<b>CONABIO</b>	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
<b>CONAFOR</b>	Comisión Nacional Forestal
<b>COP*</b>	Conferencia de las Partes
<b>COS</b>	Carbono Orgánico en Suelo
<b>CUS</b>	Cambio de uso de suelo
<b>CUSS</b>	Cambio de uso de suelo y silvicultura
<b>DA</b>	Datos de Actividad
<b>DOM</b>	Death Organic Matter
<b>ENAIPROS</b>	Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad 2013-2018
<b>ENAREDD+</b>	Estrategia Nacional para la Reducción de Emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la deforestación y degradación de los bosques, la conservación de las reservas de carbono forestal, el manejo sustentable de los bosques y el aumento de las reservas de carbono en los países en desarrollo.
<b>ENCC</b>	Estrategia Nacional de Cambio Climático
<b>EPSC</b>	European Petroleum Survey Group
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<b>FCPF-CF</b>	Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques en Washington D.C.
<b>FE</b>	Factor de Emisión
<b>FL</b>	Tierras Forestales
<b>FRA</b>	Evaluación de Recursos Forestales Mundiales
<b>FSC</b>	Forest Stewardship Council
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>GEIyCEI</b>	Gases de Efecto Invernadero y Compuestos de Efecto Invernadero
<b>H</b>	Humedales
<b>ICA</b>	Consulta y Análisis Internacional
<b>IMAD-MAF</b>	Iterative Multivariate Alteration Detection Transformation
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Ecología (hoy INECC)
<b>INECC</b>	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
<b>INEGEI</b>	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
<b>INEGyCEI</b>	Inventario Nacional de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
<b>INFyS</b>	Inventario Nacional Forestal y de Suelos
<b>IPCC</b>	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
<b>IPED</b>	Índice de presión económica a la deforestación
<b>IRE</b>	Iniciativa de Reducción de Emisiones
<b>LANDSAT</b>	Constelación de satélites LANDSAT (LAND=tierra y SAT=satélite)
<b>LGCC</b>	Legy General de Cambio Climático

<b>LGDFS</b>	Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable
<b>LGEEPA</b>	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
<b>LSNIEG</b>	Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica
<b>MAD-Mex</b>	Software de procesamiento de imágenes de satélite
<b>MFS</b>	Manejo Forestal Sustentable
<b>MLC</b>	Material Leñoso Caído
<b>MM</b>	Madera Muerta
<b>MRV</b>	Monitoreo, Reporte y Verificación
<b>N2O</b>	Óxido nitroso
<b>NDC</b>	Contribución determinada a nivel nacional
<b>NMX</b>	Norma Mexicana
<b>NREF</b>	Nivel de Referencia de Emisiones Forestales
<b>ODS</b>	Objetivos de Desarrollo Sostenible
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas
<b>OT</b>	Otras Tierras
<b>P</b>	Praderas
<b>PBCC</b>	Proyecto de Bosques y Cambio Climático
<b>PIB</b>	Producto Interno Bruto
<b>PND</b>	Programa Nacional de Desarrollo
<b>PPR</b>	Pago Por Resultados
<b>PRONAFOR</b>	Programa Nacional Forestal
<b>PSA</b>	Pago por Servicios Ambientales
<b>RapidEye</b>	Imágenes de la Constelación de Satélites RapidEye
<b>REDD+</b>	Reducción de Emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la deforestación y degradación de los bosques, la conservación de las reservas de carbono forestal, el manejo sustentable de los bosques y el aumento de las reservas de carbono en los países en desarrollo.
<b>RLGDFS</b>	Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable
<b>SADER</b>	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
<b>SAGARPA</b>	Secretaría de Agricultura
<b>SAMOF</b>	Sistema Satelital de Monitoreo Forestal
<b>SARH</b>	Secretaría de Agricultura y Recursos Hídricos
<b>SEMARNAP</b>	Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
<b>SEMARNAT</b>	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<b>SLIC</b>	Fast Linear Iterative Clustering
<b>SLICO</b>	Simple Linear Iterative Clustering
<b>SNMF</b>	Sistema Nacional de Monitoreo Forestal
<b>SNMRV</b>	Sistema Nacional de Monitoreo, Reporte y Verificación
<b>SQL*</b>	Structured Query Language
<b>TF</b>	Tierra Forestal
<b>TNF</b>	Tierra No Forestal
<b>UD</b>	Universidad de Delaware
<b>UNAM</b>	Universidad Autónoma de México
<b>USCUSS</b>	Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura
<b>USFS*</b>	Servicio Forestal de los Estados Unidos
<b>USGS*</b>	Servicio Geológico de Estados Unidos
<b>USyV</b>	Serie de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI
<b>USyV</b>	Uso de suelo y vegetación
<b>VTA</b>	Volumen Total Árbol
<b>WGS</b>	World Geodetic System

\* Por sus siglas en inglés

## Índice de cuadros

<b>Cuadro</b> 1. Pilares del Sistema Nacional de Monitoreo Forestal de México.....	25
<b>Cuadro</b> 2. Atribuciones y arreglos institucionales en materia de reportes de mitigación en el sector forestal de México.....	26
<b>Cuadro</b> 3. Mejoras e innovaciones metodológicas en el INEGyCEI-USCUSS de la 6ª Comunicación Nacional y el 2o BUR.....	28
<b>Cuadro</b> 4. Características técnicas de los productos cartográficos del Sistema SAMOF.....	31
<b>Cuadro</b> 5. Tipos de uso de suelo y vegetación (USyV) de INEGI por clase del IPCC con base en sus características fisonómico-estructurales.....	35
<b>Cuadro</b> 6. Comparación con definiciones de Bosque en reportes anteriores.....	37
<b>Cuadro</b> 7. Comparación con definiciones de deforestación en reportes nacionales previos.....	39
<b>Cuadro</b> 8. Definición de degradación forestal en Reportes nacionales previos.....	41
<b>Cuadro</b> 9. Actividades REDD+ incluidas en el NREF, justificación y elementos de mejora.....	44
<b>Cuadro</b> 10. Reservorios por cada actividad REDD+ considerados en el NREF.....	46
<b>Cuadro</b> 11. Consideraciones.....	51
<b>Cuadro</b> 12. Superficie anual por ecorregión y categoría IPCC en el periodo 2000 - 2016.....	57
<b>Cuadro</b> 13. Incertidumbre de la superficie anual por ecorregión y categoría IPCC en el periodo 2000 – 2016.....	59
<b>Cuadro</b> 14. Estimadores de razón del contenido de carbono forestal en Biomasa Aérea por unidad de superficie de cada sub-estrato (ton C/ha).....	69
<b>Cuadro</b> 15. Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono forestal en Biomasa Aérea por unidad de superficie de cada sub-estrato (%).....	69
<b>Cuadro</b> 16. Estimadores de razón del contenido de carbono forestal en Biomasa Subterránea por unidad de superficie de cada sub-estrato (ton C/ha).....	70
<b>Cuadro</b> 17. Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono forestal en Biomasa Subterránea por unidad de superficie de cada sub-estrato (%).....	70
<b>Cuadro</b> 18. Estimadores de razón del contenido de carbono forestal en Madera Muerta por unidad de superficie de cada sub-estrato (ton C/ha).....	71
<b>Cuadro</b> 19. Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono forestal en Madera Muerta por unidad de superficie de cada sub-estrato (%).....	71
<b>Cuadro</b> 20. Estimadores de razón del contenido de carbono forestal en COS por unidad de superficie de cada sub-estrato (ton C/ha).....	72
<b>Cuadro</b> 21. Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono forestal en COS por unidad de superficie de cada sub-estrato (%).....	72
<b>Cuadro</b> 22. Existencias de Carbono Forestal en Biomasa Aérea por ecorregión y equidistancia de muestreo (Toneladas).....	77
<b>Cuadro</b> 23. Incertidumbre de las existencias de Carbono Forestal en Biomasa Aérea ecorregión y equidistancia de muestreo.....	77
<b>Cuadro</b> 24. Existencias de Carbono Forestal en Biomasa Subterránea por ecorregión y equidistancia de muestreo (Toneladas).....	78
<b>Cuadro</b> 25. Incertidumbre de las existencias de Carbono Forestal en Biomasa Subterránea por ecorregión y equidistancia de muestreo.....	78
<b>Cuadro</b> 26. Existencias del contenido de carbono orgánico en Suelos por ecorregión y equidistancia de muestreo (Ton C/ha).....	79
<b>Cuadro</b> 27. Incertidumbre de las existencias del contenido de carbono orgánico en suelos por ecorregión y equidistancia de muestreo.....	79
<b>Cuadro</b> 28. Información de las parcelas representadas en la Figura 28-b.....	82
<b>Cuadro</b> 29. Existencias de Carbono a nivel nacional de los 4 reservorios incluidos en el NREF.....	87
<b>Cuadro</b> 30. Emisiones brutas provenientes de las Tierras Forestales de México por reservorio para el periodo 2000-2016 (ton C).....	88
<b>Cuadro</b> 31. Emisiones brutas de Tierras Forestales, de degradación forestal absoluta y de deforestación bruta en el periodo 2001-2016.....	92
<b>Cuadro</b> 22. Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México (2007-2016).....	94

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Matorrales xerófilos .....	14
<b>Figura 2.</b> Bosques templados de coníferas y latifoliadas .....	15
<b>Figura 3.</b> Bosques tropicales caducifolios.....	15
<b>Figura 4.</b> Pastizales.....	15
<b>Figura 5.</b> Bosques tropicales perennifolios.....	16
<b>Figura 6.</b> Humedales (Manglares) .....	16
<b>Figura 7.</b> Bosque mesófilo de montaña.....	16
<b>Figura 8.</b> Proceso del enfoque del Sistema SAMOF .....	30
<b>Figura 9.</b> Post-estratificación del muestreo sistemático, basada en los mapas de coberturas y cambios de coberturas del Sistema SAMOF. Fuente: Olofsson, 2018.....	32
<b>Figura 10.</b> La “degradación absoluta” representa una porción de la degradación forestal.....	39
<b>Figura 11.</b> Criterios para la identificación de Deforestación y Degradación forestal.....	40
<b>Figura 12.</b> Área de contabilidad del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México.....	42
<b>Figura 13.</b> Ecorregiones terrestres de México (nivel I).....	52
<b>Figura 14.</b> Estimación de superficies por medio de proporciones.....	53
<b>Figura 15.</b> (a) Diagrama con las áreas hipotéticas de un país dividido en tres Ecorregiones y con tres intensidades de muestreo, (b) Diagrama con la representación de un área hipotética de una Ecorregión-Intensidad de muestreo con 25 parcelas con las clases IPCC identificadas. ....	55
<b>Figura 16.</b> Superficie anual en el periodo 2000 – 2016. ....	61
<b>Figura 17.</b> Superficie anual de Permanencia de Tierras Forestales en el periodo 2000 - 2016 .....	61
<b>Figura 18.</b> Superficie anual de deforestación bruta en el periodo 2000 - 2016.....	62
<b>Figura 19.</b> Superficie anual de degradación forestal absoluta en el periodo 2000 - 2016 .....	63
<b>Figura 20.</b> Superficie anual de deforestación bruta y degradación forestal absoluta en el periodo 2000 - 2016 .....	63
<b>Figura 21.</b> Diagrama con la representación de la combinación de la “Base de datos multitemporal con las clases IPCC a nivel de parcela” con la “Base de contenidos de carbono de la BA” .....	66
<b>Figura 22.</b> (a) Diagrama con la representación de los contenidos de carbono de la BA con sus respectivas clases IPCC identificadas a nivel de parcela (b) Tabla con la información de las parcelas representadas en la Figura (a).....	67
<b>Figura 23.</b> Existencias anuales de Carbono en Biomasa Aérea de Tierras Forestales en el periodo 2000 - 2016.....	73
<b>Figura 24.</b> Existencias anuales de Carbono en Biomasa Subterránea de Tierras Forestales en el periodo 2000 - 2016.....	74
<b>Figura 25.</b> Existencias anuales de Carbono en Madera Muerta de Tierras Forestales por ecorregión en el periodo 2000 – 2016 .....	74
<b>Figura 26.</b> Existencias anuales de Carbono en Suelos de Tierras Forestales por ecorregión en el periodo 2000 - 2016.....	75
<b>Figura 27.</b> Existencias anuales de Carbono total en Tierras Forestales por ecorregión en el periodo 2000 - 2016.....	76
<b>Figura 28.</b> Diagrama con la representación de los contenidos de carbono de la BA con sus respectivas clases IPCC identificadas a nivel de parcela en 2008 (b) Diagrama con la representación de los contenidos de carbono de la BA con sus respectivas clases IPCC identificadas a nivel de parcela en 2009.....	81
<b>Figura 29.</b> Emisiones brutas de la biomasa aérea de las Tierras Forestales de México (2001-2016).....	84
<b>Figura 30.</b> Emisiones brutas de la biomasa subterránea de las Tierras Forestales de México (2001-2016) .....	85
<b>Figura 31.</b> Emisiones brutas de la madera muerta de las Tierras Forestales de México (2001-2016) .....	85
<b>Figura 32.</b> Emisiones brutas de COS de las Tierras Forestales de México (2001-2016) .....	86
<b>Figura 33.</b> Emisiones brutas de Carbono de las Tierras Forestales de México (2001-2016).....	86
<b>Figura 34.</b> Existencias de Carbono en biomasa aérea en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016.....	89
<b>Figura 35.</b> Existencias de Carbono en biomasa subterránea en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 – 2016 .....	89

<b>Figura 36.</b> Existencias de Carbono en madera muerta en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016 .....	90
<b>Figura 37.</b> Existencias de Carbono Orgánico de Suelos en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016 .....	90
<b>Figura 38.</b> Existencias de Carbono total en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016 .....	91
<b>Figura 39.</b> Emisiones totales de Carbono por degradación forestal absoluta en el periodo 2001-2016	91
<b>Figura 40.</b> Emisiones de Carbono por deforestación bruta en el periodo 2000-2016.....	93
<b>Figura 41.</b> Emisiones de Carbono por deforestación bruta y degradación forestal absoluta (periodo 2000-2016).....	93
<b>Figura 42.</b> Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México (2007-2016), por deforestación bruta y degradación forestal absoluta.....	95
<b>Figura 43.</b> Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México (2007-2016), por deforestación bruta .....	95
<b>Figura 44.</b> Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México (2007-2016), por degradación forestal absoluta .....	96

## 1. INTRODUCCIÓN

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) fue firmada por el Gobierno de México el 13 de junio de 1992 y aprobada unánimemente por el congreso en diciembre del mismo año. Tras la aprobación del senado, la CMNUCC fue ratificada ante la Organización de las Naciones Unidas el 11 de marzo de 1993 y entró en vigor el 21 de marzo de 1994.

Desde entonces, México ha logrado hitos que reflejan su compromiso de mitigación y adaptación al cambio climático. Uno de esos hitos fue la presentación de la Contribución determinada a Nivel Nacional (NDC), suscrita por México en 2015 como parte del Acuerdo de París. Las metas de la NDC han sido incorporadas a la Ley General de Cambio Climático, lo demuestra el compromiso del país por continuar con los esfuerzos para mitigar los impactos del cambio climático.

La NDC de México reconoce que el sector forestal es clave para la consecución de las metas, tanto de mitigación como de adaptación, a las que el país se comprometió. Las metas específicas de mitigación de la NDC para el sector forestal reflejan el nivel de importancia que tiene la reducción de la deforestación bruta y el papel del manejo forestal comunitario en la mitigación del cambio climático.

Según el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero de la 6ª Comunicación Nacional ante la CMNUCC, el sector Tierra (fundamentalmente el sector forestal), emitió 20 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq en 2015, pero absorbió 169 millones de ton de CO<sub>2</sub> en ese mismo año. Estas cifras brindan una idea del potencial de mitigación que alberga este sector.

En este contexto, y considerando los Acuerdos de Cancún de la COP16 de la CMNUCC, el Gobierno de México, liderado por la CONAFOR, impulsó la construcción participativa de la Estrategia Nacional de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques (ENAREDD+), que fue publicada en 2017 y que busca articular, en un marco de coordinación interinstitucional, un conjunto de políticas públicas que promuevan acciones de mitigación y adaptación a través de un manejo integral del territorio para lograr un desarrollo rural sustentable bajo en carbono y resiliente.

Para continuar consolidando el proceso para REDD+ en México, y considerando las decisiones 1/CP.16 y 12/CP.17, México saluda la oportunidad de someter una nueva propuesta de Nivel de Referencia de Emisiones Forestales, en el que se han incorporado mejores datos, metodologías mejoradas, y actividades y reservorios adicionales.

Este documento fue elaborado por la CONAFOR y presenta los insumos, enfoques, métodos, procedimientos de estimación y resultados del NREF actualizado y, junto con su anexo metodológico, ha sido integrado siguiendo las orientaciones del Anexo de la decisión 12/CP.17 y las directrices del IPCC 2006.

El presente documento también incluye un diagnóstico de las principales circunstancias nacionales relacionadas con REDD+ y de las políticas y planes relevantes para la mitigación del cambio climático en el sector forestal. También contiene una síntesis de los antecedentes de este NREF, que es de utilidad para contextualizarlo.

## 2. CIRCUNSTANCIAS NACIONALES

### 2.1. Características geográficas y biofísicas de México

México es una república federal, representativa, democrática y laica, integrada por 32 entidades federativas: 31 estados libres y soberanos, y la Ciudad de México (INECC-SEMARNAT, 2018b). La superficie continental de México es de 1,960,189 km<sup>2</sup> (INEGI, 2016b). En el territorio mexicano concurren dos grandes zonas biogeográficas: la Neártica, que contribuye con una gran representación de las especies de las zonas templadas del mundo, y la Neotropical, que aporta muchos elementos de la zona tropical, provenientes de la Cuenca Amazónica (Sarukhán *et al.*, 2017).

En México se presentan casi todos los climas del planeta, lo que aunado a su accidentada topografía y compleja geología permite que se desarrollen prácticamente todos los ecosistemas terrestres presentes en el mundo. México es uno de los países con mayor número de especies animales y vegetales, y es el cuarto país “megadiverso”. La proporción de especies presentes en nuestro país respecto al total conocido es sensiblemente mayor (alrededor de 10 a 12 por ciento) que la proporción de superficie terrestre que México representa del total mundial (1.4%). México combina esa elevada diversidad biológica con una gran riqueza cultural. Además, también destaca por su riqueza de endemismos y por la gran variabilidad genética mostrada en muchos grupos taxonómicos, resultado de la evolución o diversificación natural y cultural en el país (Sarukhán *et al.*, 2017).

Con la finalidad de estudiar esta variabilidad biológica y de desarrollar políticas públicas que incluyan escalas espaciales adecuadas y que consideren la dinámica ambiental, México ha sido dividido en siete grandes “ecozonas” o ecorregiones terrestres, que son unidades geográficas con flora, fauna y ecosistemas característicos (INEGI-CONABIO-INE, 2008). Una descripción detallada puede encontrarse en la sección 6.1.

Con base en la propuesta de categorización de las comunidades vegetales, presentada por Challenger y Soberón (2008), en la que a partir de las clasificaciones de tipos de vegetación hechas por Rzedowski (1978), Miranda y Hernández (1963) y la clasificación del (INEGI, 2005), en México se desarrollan siete categorías principales de vegetación natural. Considerando la Serie VI de la carta de uso de suelo y vegetación del INEGI (2017a), estas categorías principales se distribuyen como sigue: (i) la mayor parte de la superficie del país está cubierta por el matorral xerófilo (**Figura 1**) con 587,861.8 Km<sup>2</sup>, (ii) seguido de los bosques templados de coníferas y latifoliadas (**Figura 2**) con 324,006.6 Km<sup>2</sup>, (iii) Bosques tropicales caducifolios (**Figura 3**) con 202,226.6 Km<sup>2</sup>, (iv) Pastizal (**Figura 4**) con 116,468.6 Km<sup>2</sup>, (v) Bosques tropicales perennifolios (**Figura 5**) con 99,061.4 Km<sup>2</sup>, (vi) Humedales 27,730.2 Km<sup>2</sup> (**Figura 6**) y (vii) el Bosque mesófilo de montaña (**Figura 7**) con una superficie de 17,974 Km<sup>2</sup>.



**Figura 1.** Matorrales xerófilos



**Figura 2.** Bosques templados de coníferas y latifoliadas



**Figura 3.** Bosques tropicales caducifolios



**Figura 4.** Pastizales



**Figura 5.** Bosques tropicales perennifolios



**Figura 6.** Humedales (Manglares)



**Figura 7.** Bosque mesófilo de montaña

## 2.2. Recursos forestales de México

CONAFOR (2018) con base en la Carta de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI (Serie VI-año base 2014), México cuenta con 137,845,137 hectáreas de superficie forestal, que equivale al 70% de la superficie continental del país. La superficie forestal corresponde al área total de vegetación forestal, tanto en estado sucesional de vegetación primaria como de vegetación secundaria. La superficie forestal arbolada, que se concentra principalmente en los ecosistemas de bosques, selvas y manglares, asciende a 65,706,727 ha, lo que representa casi el 50% de la superficie forestal total.

La superficie de bosques (o tierras forestales sensu IPCC, 2006), basada en la Carta de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI (Serie V-año base 2011) (INEGI, 2013), que fue considerada para la elaboración del NREF anterior y para el INEGI del 1er BUR (INECC-SEMARNAT, 2015) asciende a 88,078,158 ha. Dentro del concepto de “tierras forestales”, México ha decidido incluir toda la superficie con vegetación leñosa, que considera la superficie arbolada además de los matorrales xerófilos leñosos y la vegetación hidrófila leñosa.

El concepto de tierras forestales (usado tanto para los NREF como para los INEGI) es más amplio que el concepto de “vegetación forestal arbolada” pero más restringido que el de “vegetación forestal”. La definición de tierras forestales tomó en cuenta las recomendaciones del proceso de consulta de la ENAREDD+ y fue construido para cumplir con los objetivos de dicha estrategia de manera incluyente. En la sección 5.1 se hace un análisis más detallado sobre la definición de bosque utilizada en el presente NREF y su grado de consistencia con la definición de otros reportes.

La superficie de tierras forestales, basada en la Carta de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI (Serie VI-año base 2014) (INEGI, 2016a), utilizada en el INEGyCEI-USCUSS (INECC-CONAFOR, 2018) de la 6ª Comunicación Nacional y el 2º BUR (INECC-SEMARNAT, 2018b) asciende a 87,963,457 ha. Esta superficie se refiere al área mapeada de tierras forestales de la Serie VI del INEGI. Como parte de ese mismo INEGyCEI-USCUSS, se llevó a cabo un análisis de incertidumbre de los datos de actividad. Este análisis dio como resultado una superficie de tierras forestales que permanecen como tierras forestales (entre la Serie V y la Serie VI del INEGI) equivalente a 97,435,222 ha. Este dato de superficie forestal podía considerarse la cifra menos sesgada de tierras forestales en el país, hasta antes del presente reporte.

Uno de los resultados más importantes de este NREF actualizado, es la superficie de tierras forestales del país, estimada a través de un muestreo sistemático, que asciende a 98,469,001 ha en 2014. Esta cifra es cercana a la cifra de permanencias de tierras forestales de la 6ª Comunicación Nacional mencionada arriba. La coincidencia adquiere mayor relevancia si se toma en cuenta que ambos datos provienen de metodologías diferentes, pero utilizan el mismo concepto de bosque.

La superficie forestal per-cápita estimada es de 0.5 ha/habitante con base en los datos de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA, 2015) y datos de población reportados por el Banco Mundial para 2015 (CONAFOR, 2019).

Por otro lado, las existencias volumétricas totales de madera en el país, presentes en la vegetación forestal arbolada, ascienden a 3,731 millones de metros cúbicos de madera en rollo en pie, con base en el último ciclo de muestreo del INFyS 2009-2014 (CONAFOR, 2018). De esta cifra, 2,026 millones corresponden a vegetación primaria y 1,705 millones a vegetación secundaria. La contribución más significativa proviene de las siguientes formaciones forestales: (i) selvas altas y medianas en estado sucesional secundario, (ii) bosque de coníferas y latifoliadas en estado primario, y (iii) bosque de coníferas en estado primario.

El incremento anual total de madera en los ecosistemas de bosques de coníferas, bosques de coníferas y latifoliadas, bosques de latifoliadas y bosque mesófilo de montaña del país es de 46,771,818 m<sup>3</sup>/año. Es importante resaltar que esta estimación se refiere exclusivamente a géneros de coníferas (Abies, Cupressus, Juniperus, Picea, Pinus y Pseudotsuga) (CONAFOR, 2018).

De acuerdo con el INEGyCEI-USCUSS (1990-2015) (INECC-CONAFOR, 2018) de la 6ª Comunicación Nacional y el 2º BUR ante la CMNUCC, el sector 3B Tierra, fundamentalmente representado por los ecosistemas forestales del país, absorbió 169 millones de ton de CO<sub>2</sub> eq en el año 2015. En ese mismo año, las emisiones de GEI de dicho sector fueron de 20 millones de ton de CO<sub>2</sub> eq, lo que implica que el sector Tierra es un sumidero neto capaz de absorber 149 millones de ton de CO<sub>2</sub> eq.

### **2.3. Características socioeconómicas del sector forestal**

Las áreas forestales de México están habitadas por 10.91 millones de personas de acuerdo con datos del Censo de Población y Vivienda de 2010 del INEGI. Esta cifra, que representa casi el 10% de la población mexicana, está concentrada principalmente en los estados del sur del país, como Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Veracruz y Puebla.

En México se reconocen tres regímenes de tenencia de la tierra: (i) pública, que corresponde a los terrenos propiedad del estado; (ii) privada, aquella que la nación otorga a particulares; y (iii) social, constituida por los núcleos agrarios (ejidos y comunidades) y que cubre el 53% de la superficie total del país (CONAFOR, 2019). De un total de 29,464 núcleos agrarios en el país, 15,584 pueden considerarse como ejidos y comunidades forestales, los cuales tienen la propiedad de 62.6 millones de hectáreas de bosques, selvas y vegetación forestal de zonas áridas (CONAFOR, 2017).

México es también una nación pluricultural y multilingüe: existen al menos 68 pueblos indígenas descendientes de poblaciones que habitaban el país antes de la llegada de los españoles y que tienen como rasgos comunes el uso de sus lenguas, valores y sistemas sociales, políticos y normativos en torno a los cuales organizan su vida y toman sus decisiones. La relación que existe entre los ecosistemas forestales y las poblaciones indígenas es muy estrecha, ya que en la mayor parte de los territorios donde habitan los pueblos indígenas se encuentran los tipos de vegetación forestal más importantes (CONAFOR, 2017). En los ecosistemas forestales habitan 3.42 millones de personas que forman parte de hogares catalogados como indígenas, y que se concentran en los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Puebla e Hidalgo (CONAFOR, 2019).

El Producto Interno Bruto (PIB) del sector forestal en 2017 fue de 43,002 millones de pesos (0.23% del PIB Nacional), con una variación anual de la producción forestal del 4%. El PIB forestal se distribuye como sigue: 25,795 millones de pesos generados por el subsector de la industria de la madera, y 17,207 millones de pesos correspondientes al subsector de fabricación de pulpa, papel y cartón (CONAFOR, 2019).

La producción forestal maderable en 2018 ascendió a 8.5 millones de metros cúbicos de madera en rollo. La producción no maderable en 2017 fue de 226,727 toneladas. El indicador de consumo aparente de productos forestales maderables en 2017 registró 27.3 millones de m<sup>3</sup> de madera rollo total árbol. La balanza comercial de productos forestales exhibió un déficit de 6,165 millones de dólares en 2017. En 2016 se reportaron 166,664 empleos en el sector forestal, 50,639 en aprovechamientos forestales y actividades relacionadas, y 116,025 en la industria de la madera, (CONAFOR, 2019).

### **2.4. Indicadores sobre manejo forestal sustentable en México**

La superficie bajo manejo forestal maderable en 2019 fue de 6,200,640 ha, distribuidas en 14,611 predios, y con un volumen autorizado para aprovechamiento de 145,952,604 m<sup>3</sup> volumen total árbol (VTA) para un ciclo de corta de 10 años (alrededor de 14.5 millones de m<sup>3</sup> VTA por año). El 60% de la superficie bajo aprovechamiento maderable corresponde a ejidos forestales, el 13% a comunidades forestales y el 27% a propietarios particulares. El 70% de la producción nacional maderable se concentra en los estados de Durango, Oaxaca, Veracruz, Michoacán y Chihuahua<sup>1</sup>.

De la superficie bajo manejo forestal maderable, alrededor de 2,650,000 ha cuentan con algún tipo de certificación: 1.42 millones de hectáreas tienen una certificación internacional que se basa en

<sup>1</sup> Fuente: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, a través de la Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. 2019.

prácticas de manejo responsables bajo los estándares de certificación del Forest Stewardship Council (FSC), 0.73 millones de hectáreas cuentan con una certificación nacional bajo el esquema de la Norma Mexicana NMX-AA-143-SCFI-2015, y 0.50 millones de hectáreas han sido sometidas a una evaluación o Auditoría Técnica Preventiva (ATP) en el marco de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. 277 ejidos y comunidades aportan 2.5 millones de ha certificadas, y 66 predios particulares aportan 150 mil ha certificadas.

La superficie forestal vigente en 2019 bajo el programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA) corresponde a 2.1 millones de hectáreas. De esta superficie, 74% se encuentra en ejidos, 17% en comunidades y 9% en pequeñas propiedades. La superficie vigente, por ecosistema, se distribuye de la siguiente manera: 49% corresponde a bosques, 35% a selvas, 13% a zonas áridas y 3% a manglares. El 41% de la superficie bajo PSA se encuentra dentro Áreas Naturales Protegidas (ANP), el 76% presenta un riesgo alto y medio a desastres naturales y el 84% corresponde a zonas estratégicas para la provisión de servicios hidrológicos. Es importante resaltar que el 50% de la superficie bajo PSA se focaliza en zonas identificadas con un índice de presión económica a la deforestación (IPED) alto y muy alto (CONAFOR, 2019).

De 1998 a 2019 el promedio de incendios forestales fue de 8,237, con una superficie promedio anual afectada de 324,672 hectáreas. Los valores máximos de superficie afectada ocurrieron en 1998 (849,632 ha) y en 2011 (956,405 ha). La proporción de superficie afectada por incendios forestales en áreas naturales protegidas es del 19%, en áreas con manejo forestal del 6%, en áreas bajo PSA del 2% y en áreas sin esquemas de protección o manejo del 73%. La superficie incendiada promedio por tipo de vegetación se distribuye como sigue: 66% corresponde a bosques, 8% en selvas, 4% en zonas áridas y semiáridas, 1% en manglares y vegetación hidrófila, y 21% en otras asociaciones de vegetación forestal. El 95% de la superficie afectada en 2019 corresponde a vegetación del estrato herbáceo/arbustivo y 5% al estrato arbóreo. La causa principal de incendios forestales han sido las actividades agropecuarias (37.3% de los incendios ocurridos entre 2008 y 2018).

De acuerdo con el Sistema Nacional de Gestión Forestal<sup>2</sup> (SEMARNAT-CONAFOR, 2019), de enero a septiembre de 2019 se registraron 41,197 ha afectadas por diversos agentes causales de plagas y enfermedades, destacando los insectos defoliadores con 18,609 ha (45.4%), en segundo lugar las plantas parásitas y epífitas con 12,690 ha (30.8%), en tercer lugar se ubican los insectos descortezadores con 7,050 ha (17.1%), en cuarto lugar se encuentran los insectos barrenadores con 1,748 ha (4.2%), en quinto lugar otros agentes con 601 ha (1.5%) y en el último lugar las enfermedades con 499 ha (1.2%).

En el periodo 2013-2018, la CONAFOR orientó acciones de restauración forestal y reconversión productiva en predios forestales degradados. Estas acciones consideraron, en primer lugar, la realización de actividades de reforestación, obras de conservación y restauración de suelos, mantenimiento y acciones de protección de áreas reforestadas en un mismo sitio, con la finalidad de atender en forma integral zonas degradadas. Con este enfoque, en el periodo referido se realizaron trabajos de reforestación en 1,005,324 hectáreas en el país. El índice de sobrevivencia de las reforestaciones fluctuó entre 43.5% a 67.8%, dependiendo del año del periodo considerado, al momento en que las plantaciones se establecieron.

## **2.5. Deforestación y degradación forestal en México**

Los procesos de deforestación y degradación forestal presentan dinámicas distintas asociadas a la heterogeneidad de condiciones biofísicas y socioeconómicas en México (CONAFOR, 2019; Paulina Osorio *et al.*, 2015). Las tasas de deforestación estimadas en periodos previos al año 2000 varían desde 229 a 776 mil ha/año (Castillo *et al.*, 1989; FAO, 2010; Masera *et al.*, 1997; SARH, 1994; SEMARNAP, 1998; Velázquez *et al.*, 2002b). Las cifras de deforestación bruta en las últimas dos décadas han sido consistentemente menores oscilando entre 91,600 y 495,647 ha/año (CONAFOR, 2019; FAO, 2010, 2014).

---

<sup>2</sup> <http://sngf.semarnat.gob.mx:8080/sngfev2/servlet/sngf>

Con base en la definición de bosque adoptada por México en sus informes ante la FAO (2016) y en el análisis de las fuentes disponibles a nivel nacional (Series de USyV de INEGI), la deforestación neta ha disminuido en las dos últimas décadas de 154,600 ha/año entre 2000 y 2005 a 91,600 ha/año entre los años 2010 y 2015 (FAO, 2014). En contraste, las estimaciones de deforestación bruta del INEGI como parte del 1er BUR (INECC-SEMARNAT, 2015) y del primer NREF (CONAFOR, 2015), son mayores y con tendencia variable: 526,930, 675,577 y 355,988 ha/año para los periodos 1993-2001, 2002-2006 y 2007-2010. Estas diferencias con el FRA para la FAO, se deben a tres razones: (i) El primer NREF considera deforestación bruta y no neta, (ii) también emplea una definición de bosque más amplia consistente con las Tierras Forestales del IPCC (2006), que incluye los matorrales xerófilos leñosos, y (iii) se basa en una metodología de combinación geográfica de las series de USyV del INEGI (mapas de cambios) y no una comparación tabular.

Las recientes estimaciones de deforestación bruta reportadas en el INEGyCEI-USCUSS (INECC-SEMARNAT, 2018a) de la 6ª Comunicación Nacional (INECC-SEMARNAT, 2018b) ante la CMNUCC, reflejan una variación importante respecto de todas las cifras anteriores: 176,055, 173,935, 193,317 y 251,202 ha/año para los periodos 1990-2001, 2002-2006, 2007-2010 y 2011-2015, respectivamente. Estas cifras pueden ser consideradas los datos menos sesgados de deforestación bruta con que contaba el país antes del presente NREF, ya que fueron producidos mediante un exhaustivo análisis de incertidumbre, basado en (Olofsson *et al.*, 2014; 2013), de los mapas de cambios de las Series de INEGI. Los resultados de este análisis pueden sintetizarse como sigue: (i) La magnitud de la deforestación bruta para todos los periodos es considerablemente menor, debido al gran número de falsos cambios producidos por el traslape de mapas de coberturas, (ii) La tendencia se suaviza y muestra un comportamiento al alza en los últimos periodos, y (iii) Convergencia entre áreas mapeadas y áreas insesgadas en el último mapa de cambios (que se considera el de mejor calidad).

Este amplio rango de estimaciones de deforestación refleja las diferencias entre las líneas base de comparación, los periodos de referencia, así como la diversidad de métodos y formas de clasificar la vegetación forestal (Ellis *et al.*, 2015). A pesar de la variabilidad de las estimaciones de las tasas de deforestación, la mayoría de ellas coincide en que las tasas de deforestación fueron considerablemente mayores en las selvas tropicales (CONAFOR, 2019; Ellis *et al.*, 2015; INECC-SEMARNAT, 2018b; Masera *et al.*, 1992; Masera *et al.*, 1997).

Las principales causas de deforestación son el cambio de uso de suelo de terrenos forestales con fines productivos. La expansión agropecuaria (principalmente transición a pastizal) ha sido el principal factor de deforestación (Masera *et al.*, 1992; Masera *et al.*, 1997; Velázquez *et al.*, 2002b), seguido de expansión de usos urbanos, industriales y turísticos.

Estos cambios de uso de suelo son propiciados por factores indirectos (causas subyacentes), asociados principalmente a políticas públicas de desarrollo rural (CONAFOR, 2017; Velázquez *et al.*, 2002a), factores institucionales, sociales y económicos que han fomentado la sustitución de la cobertura forestal (Ellis *et al.*, 2015; Ellis *et al.*, 2017). La falta de cohesión y organización social al interior de las comunidades y ejidos, la pobreza y desigualdad social, los conflictos y tipos de tenencia de la tierra, la falta de valores y responsabilidad ambiental, la falta de capacidades técnicas y gerenciales, las dificultades para acceder a fuentes de financiamiento, la insuficiente transferencia de tecnología para mejorar la productividad, la falta de transparencia proactiva e información para la toma de decisiones, la falta de políticas transversales que promuevan el manejo la conservación y el aprovechamiento de los terrenos forestales (CONAFOR, 2017; Ellis *et al.*, 2017; Velázquez *et al.*, 2002a) han generado formas de crecimiento y producción no sustentable que, al no incorporar en la toma de decisiones los distintos valores de los ecosistemas (incluidos el valor cultural, social y espiritual), favorecen formas de producción y consumo proclives a la pérdida de cobertura vegetal. Los productos forestales compiten en desventaja en los mercados, debido en parte a los altos costos de transacción, a la baja productividad y a la falta de competitividad de la actividad silvícola. Es evidente que, para ciertos productos (como aguacate, soya, palma de aceite, carne), existen condiciones de mercado y precios favorables que fomentan la expansión agropecuaria.

Adicionalmente, no existe una evaluación nacional detallada de los diversos procesos de degradación que ocurren en el país (CONAFOR, 2017). El INEGyCEI-USCUSS de la 6ª CN estimó superficies de degradación forestal de 125,262 ha/ha/año para el periodo 2002-2006, 141,581 ha/año para 2007-2010 y 60,799 ha/año para el periodo 2011-2015 (CONAFOR, 2019; INECC-SEMARNAT, 2018b). Los reportes de México ante la FAO estiman superficies que van de 22,800 a 300,000 ha/año entre 2000-2015 (FAO, 2010, 2014).

La degradación forestal es causada por perturbaciones tanto antrópicas como naturales. El grado de afectación de los bosques, debido a estas perturbaciones, depende de su frecuencia, intensidad, extensión y origen (Simula, 2009). Procesos como los incendios forestales, la tala selectiva y extracción de leña, o la sobreexplotación de un recurso, son las causas directas más comúnmente reportadas como origen de degradación de bosques (Bustamante *et al.*, 2016; Simula, 2009). Eventos hidrometeorológicos extremos como ciclones tropicales, que llegan a afectar más del 60% del territorio nacional (INECC-SEMARNAT, 2018b), sequías y temperaturas cálidas (Gaucin, 2014), pueden inducir la mortalidad de arbolado y pérdida de vegetación (Gómez-Mendoza y Galicia, 2010). Además, pueden impactar en la sanidad forestal, aumentando la susceptibilidad a disturbios como plagas, enfermedades e incendios forestales. (Menéndez, 2007) induciendo la degradación de los ecosistemas forestales.

Los procesos de degradación y deforestación de los ecosistemas forestales tienen consecuencias importantes como la sedimentación de ríos, los azolves en obras hidráulicas y cuerpos de agua, el incremento de la erosión y desertificación, la pérdida de fertilidad de terrenos agropecuarios, el aumento en la vulnerabilidad de los bosques, y la pérdida de la biodiversidad. A su vez, estos procesos ocasionan la pérdida de la capacidad para producir alimentos, la pérdida de oportunidades económicas y productivas, la pérdida de empleos, y la intensificación de vulnerabilidad al cambio climático, así como la disminución de la capacidad de adaptación frente a este fenómeno.

## **2.6. Marco legal sobre bosques y cambio climático**

México fue uno de los primeros países en desarrollar un marco legal sobre cambio climático. En 2012, el gobierno mexicano aprobó la Ley General de Cambio Climático (LGCC), que es el instrumento jurídico general para coordinar las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático en los tres órdenes de gobierno. Esta ley tiene como objeto explícito regular las emisiones de GEI para que México contribuya al objetivo de la CMNUCC previsto en su artículo 2º.

En 2018 se realizaron importantes modificaciones a la LGCC con la finalidad de establecer las bases para que México contribuya al cumplimiento del Acuerdo de París, adecuando la terminología, componentes, metas y compromisos con motivo de la entrada en vigor de dicho acuerdo. De manera consistente con la NDC mexicana, la LGCC estipula que el país se compromete a reducir de manera no condicionada el 22% de sus emisiones de GEI y el 51% sus emisiones de carbono negro al año 2030 con respecto a la línea base.

Tanto la NDC como la LGCC reconocen que el sector forestal es uno de los sectores clave para lograr las metas de mitigación a nivel nacional. Del compromiso total de mitigación no condicionado, el sector forestal contribuirá con casi el 22% de la meta al año 2030. Este porcentaje ubica al sector forestal como el tercer contribuyente a los objetivos de mitigación, sólo después de los sectores de generación de energía eléctrica y del transporte.

La LGCC también establece las disposiciones para que las dependencias de la administración pública federal, estatal y municipal, promuevan políticas y acciones para frenar y revertir la deforestación y la degradación de los ecosistemas forestales y ampliar las áreas de cobertura vegetal y el contenido de carbono orgánico en los suelos, aplicando prácticas de manejo sustentable en terrenos ganaderos y cultivos agrícolas.

La LGCC establece que la CONAFOR diseñará estrategias, políticas, medidas y acciones para transitar a una tasa de cero por ciento de pérdida de carbono en los ecosistemas originales, tomando en consideración el desarrollo sustentable y el manejo forestal comunitario. La incorporación gradual de

más ecosistemas a esquemas de conservación, como el de pago por servicios ambientales, es también una disposición relevante.

La legislación en materia de cambio climático y de desarrollo forestal sustentable está alineada en sus propósitos de mitigación en el sector forestal. La LGDFS, expedida en 2003, tiene como objetivo específico promover el diseño y la aplicación de medidas de mitigación del cambio climático. Específicamente, tiene como objetivo promover el manejo forestal sustentable a fin de contribuir a mantener e incrementar los acervos de carbono y reducir las emisiones provenientes de la deforestación y degradación forestal.

## **2.7. Políticas y planes pertinentes para REDD+**

La Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), mandatada por la LGCC, es el instrumento rector de la política nacional en este tema. Determina la visión a corto y largo plazos para establecer las prioridades nacionales. Una de las principales acciones consideradas por esta estrategia en sus ejes de mitigación, se refiere a impulsar el manejo forestal planificado y sostenible por parte de las comunidades locales como un mecanismo que incentive la preservación y conservación de los recursos forestales con la finalidad de frenar la tasa de deforestación.

La ENCC también plantea como un objetivo a largo plazo que los recursos naturales sean valorados económicamente de manera correcta y adecuada, y que el desarrollo económico y social del país sea potenciado a través del mejoramiento del capital natural. Estos objetivos adquieren especial relevancia para atacar las causas subyacentes de la deforestación y la degradación forestal en México.

Por otra parte, como uno de sus pilares, la ENCC establece que las acciones de mitigación requieren del desarrollo de instrumentos de Medición, Reporte y Verificación, para proporcionar transparencia y certidumbre de las acciones, y para garantizar la integridad ambiental, comparabilidad, consistencia, transparencia y precisión de datos. Lo anterior permitirá evaluar y retroalimentar el diseño de las políticas de cambio climático, promoviendo su eficiencia e impacto.

Atendiendo los mandatos de la LGCC y de la ENCC, y considerando los Acuerdos de Cancún de la COP16 de la CMNUCC, el Gobierno de México, liderado por la CONAFOR, impulsó la construcción participativa de la Estrategia Nacional de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques (ENAREDD+) que tiene como objetivos, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero ocasionadas por la deforestación y degradación forestal, así como el manejo forestal sustentable y la conservación e incremento de los acervos de carbono forestal, a través del manejo integral del territorio y con un enfoque de desarrollo rural sustentable.

La ENAREDD fue publicada por la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático en el 2017, luego de un exhaustivo proceso participativo para su elaboración<sup>3</sup>. Durante 2015 y 2016 se realizó una amplia consulta a través de espacios de diálogo donde interactuaron actores de diferentes sectores, y donde se consideraron las posturas de aquellas personas cuya opinión usualmente no es tan preponderante como son las mujeres rurales, los jóvenes y los pueblos indígenas.

Otro instrumento de alta relevancia para las acciones de mitigación en el sector forestal es el Programa Nacional Forestal (PRONAFOR), que es un programa derivado del Plan Nacional de Desarrollo. El PRONAFOR tiene un carácter de “especial” lo que implica que para su ejecución y logro de resultados, requiere de un enfoque transversal, el cual considera la colaboración y coordinación de acciones con dependencias y entidades de diferentes sectores de la administración pública federal.

La SEMARNAT, a través de la CONAFOR, lideró la implementación del Programa Nacional Forestal 2014-2018 (el cual estuvo alineado al Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018). Los propósitos de mitigación estuvieron en el primer plano de los objetivos del PRONAFOR 2014-2018, a través de la promoción del crecimiento sustentable bajo en carbono y de la implementación de las primeras acciones de la ENAREDD+.

---

<sup>3</sup> <http://www.enaredd.gob.mx/>

La creación de la CONAFOR en 2001 significó un replanteamiento de la política forestal que incluyó como concepto central al manejo forestal sustentable (entendido como la ordenación, el cultivo, la protección, la conservación, la restauración y el aprovechamiento de los recursos y servicios ambientales de un ecosistema forestal), trascendiendo los objetivos anteriores de la visión de la política enfocada sólo a la producción maderable.

Desde su creación, la CONAFOR ha venido fortaleciendo sus estrategias de intervención en el territorio y consolidando sus programas de subsidios. En 2007, la CONAFOR emprendió esfuerzos para integrar sus programas, mediante un mecanismo para simplificar la asignación de sus subsidios y elevar su grado de efectividad. A partir de ese año y a la fecha, cuatro de los programas emblemáticos de la CONAFOR han sido: (i) El Programa de Desarrollo Forestal (que derivó después en la ambiciosa Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad 2013-2018 -ENAIPROS), (ii) el Programa de Pago por Servicios Ambientales, (iii) el Programa de Restauración Forestal y (iv) el Programa de Protección contra Incendios Forestales.

A partir de 2007, el presupuesto de la CONAFOR (incluido el de los programas arriba mencionados) incrementó considerablemente respecto de todos los años anteriores, y mantuvo una tendencia general al alza hasta 2016, con un máximo de presupuesto total ocurrido en 2014 y un máximo de presupuesto para subsidios ocurrido en 2016.

De 2012 a 2017, la CONAFOR lideró una de las acciones más importantes en la fase de preparación para REDD+ en el sector forestal: el Proyecto de Bosques y Cambio Climático (PBCC), que fue una iniciativa estratégica para fortalecer y respaldar las acciones emprendidas en materia de atención a los bosques y al cambio climático. El PBCC apoyó a las comunidades forestales en México para administrar de manera sustentable sus bosques, fortalecer su organización y aumentar sus ingresos provenientes de la venta de productos y servicios forestales, así como apoyar las acciones para REDD+<sup>4</sup>.

En diciembre de 2016, México presentó el Documento de la Iniciativa de Reducción de Emisiones (IRE), en la 15a Reunión del Fondo de Carbono (CF15) del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF-CF) en Washington D.C.<sup>5</sup> La IRE es una iniciativa para pilotear el modelo de intervención para REDD+ y contempla el enfoque de manejo integral del territorio en el ámbito rural, estableciendo el vínculo entre la planeación a nivel del territorio, considerando las necesidades locales, la planeación y programación presupuestal que se realiza a nivel federal y estatal.

Aunque el posible pago por resultados en el marco de la IRE está en su fase de negociación entre el gobierno mexicano y el FCPF-CF, esta iniciativa ha sentado las bases para la implementación de acciones REDD+ en cinco estados del país (Campeche, Chiapas, Jalisco, Quintana Roo y Yucatán) que son las entidades que presentan la mayor dinámica de deforestación. El componente medular de la IRE son sus programas de inversión, que son instrumentos de planeación territorial que identifican actividades específicas en cada estado para atacar las causas directas y subyacentes de la deforestación y la degradación forestal. Durante 2017 y 2018, la CONAFOR ha suscrito un acuerdo de coordinación con cada entidad federativa con la finalidad de facilitar la implementación de la IRE. Muchas de las actividades que actualmente realizan dichos estados están basadas en el diagnóstico y planeación de la IRE.

### **La nueva política forestal 2019-2024**

El Programa Nacional de Desarrollo (PND) 2019-2024 establece tres ejes temáticos: Política y Gobierno, Política Social y Economía. En particular, el eje de actuación de Política Social impulsará el

<sup>4</sup> Proyecto de Bosques y Cambio Climático (PBCC). Memoria Documental. Disponible en [http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/1/7619Proyecto%20Bosques%20y%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%20\(PBCC\).pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/1/7619Proyecto%20Bosques%20y%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%20(PBCC).pdf)

<sup>5</sup> Documento de la Iniciativa de Reducción de Emisiones y Anexos. Disponible en: <https://www.gob.mx/conafor/documentos/documento-de-la-iniciativa-de-reduccion-de-emisiones-y-anexos>

desarrollo sostenible, como factor indispensable del bienestar y considerando principios éticos, sociales, ambientales y económicos para garantizar un futuro mínimamente habitable y armónico.

Adicionalmente, el artículo 22 de la Ley de Planeación establece que el PND indicará los programas especiales que deberán ser elaborados. Uno de ellos es el Programa Nacional Forestal 2019-2024, el cual contribuirá a cumplir los compromisos internacionales en materia forestal que México ha adquirido al adherirse a una serie de acuerdos multilaterales. Entre estos acuerdos se encuentran: la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) incluyendo el Acuerdo de París; la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNUCLD); el Convenio Internacional de las Maderas Tropicales (CIMT); la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES); el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) y las Metas de Aichi, y la Agenda 2030 y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Además, existen iniciativas internacionales a las que el Gobierno de México se ha adherido como el Desafío de Bonn (Bonn Challenge) y la Declaración de Nueva York sobre los Bosques. Como parte de estas contribuciones se suma el objetivo prioritario 1, el cual establece:

“Promover el **manejo forestal comunitario** para el uso sostenible y diversificado de los recursos forestales, así como la integración y desarrollo de redes locales de valor competitivas que detonen economías locales para mejorar la calidad de vida de la población que habita en zonas forestales”, que a través de sus estrategias y acciones puntuales contribuirá a reducir en el medio plazo los problemas que han impedido el desarrollo y competitividad del sector forestal.

A través de este objetivo, la CONAFOR implementará la Estrategia Nacional de Manejo Forestal Comunitario con enfoque territorial y biocultural bajo los principios de sustentabilidad, equidad e inclusión, para fortalecer la gobernanza local y las capacidades técnicas, organizacionales, asociativas, de planeación y empresariales; además de incrementar la superficie incorporada al manejo y uso sostenible de los recursos forestales maderables y no maderables, considerando su potencial productivo, los escenarios de cambio climático y los compromisos país en materia de mitigación y adaptación al cambio climático.

Adicionalmente, la administración actual está dando continuidad a la ENAREDD+, que centra su objetivo en impulsar un modelo de intervención basado en el manejo integrado del territorio con un enfoque de paisaje, la adaptación basada en comunidades y ecosistemas, a efecto de que los subsidios que otorga la Federación a través de la Comisión Nacional Forestal tengan mayores y mejores impactos sobre los diversos ecosistemas, actores y personas que habitan en las áreas forestales del país, considerando las diferencias y desigualdades entre hombres y mujeres.

Por otra parte, el programa “Sembrando Vida” consiste en rehabilitar terrenos deforestados o dañados por procesos agrícolas, sembrando alimentos en una primera etapa y árboles maderables después. Para incentivar a los productores del campo a recuperar sus tierras y no abandonarlas, la Secretaría del Bienestar les entregará un pago de cinco mil pesos mensuales, por trabajar en su propio ejido de lunes a sábado. Dicho programa se articula con la Política de Bienestar de la administración actual, la cual considera la dimensión social y la ambiental.

Este entramado programático pone de manifiesto la determinación institucional para subsanar la falta de políticas transversales para promover el manejo, la conservación y el aprovechamiento de los recursos forestales con una perspectiva de desarrollo sostenible. Así mismo, los objetivos de estos instrumentos de planeación de política medioambiental plantean la generación de información estratégica para una toma de decisiones basada en la evidencia, una coordinación institucional que potencialice las intervenciones diseñadas desde la Administración Pública Federal y una lógica de desempeño por resultados frente a los retos y compromisos adquiridos en materia ambiental a nivel global.

## 2.8. Arreglos institucionales de MRV para REDD+

La CONAFOR funge como punto focal para la preparación e instrumentación de REDD+ en México. La LGDFS mandata a esta institución para generar la información sobre la reducción de emisiones derivadas de acciones de prevención y combate de la deforestación y degradación forestal, la cual deberá estar basada en el Sistema Nacional de Monitoreo, Reporte y Verificación (art. 46). Además, el estatuto orgánico de la CONAFOR le otorga la atribución de establecer, operar y mantener el sistema nacional de monitoreo forestal y construir el nivel de referencia de emisiones del sector forestal del país (art. 17, fracc. XXX).

La LGDFS también establece un mandato a la CONAFOR para cuantificar la superficie de terrenos forestales, con el propósito de integrar su información estadística y elaborar su cartografía, y la dinámica de cambio de la vegetación forestal, que permita conocer y evaluar las tasas de deforestación y las tasas de degradación y disturbio (art. 46).

El Sistema Nacional de Monitoreo Forestal es un instrumento de la política forestal (art. 34 de la LGDFS) que tiene como objetivo recopilar, analizar y divulgar datos relacionados con los bosques de México, incluyendo la producción de información y conocimiento a intervalos regulares que permitan el monitoreo de sus cambios. El diseño e implementación del SNMF es responsabilidad de la CONAFOR (art. 10 y art. cuarto transitorio de la LGDFS). Este sistema está compuesto por tres pilares o subsistemas (**Cuadro 1**), que cumplen con las funciones de monitoreo y que están estrechamente relacionados entre sí.

**Cuadro 1.** Pilares del Sistema Nacional de Monitoreo Forestal de México.

Pilares del SNMF	Descripción/objetivo	Fundamento legal y programático	Principales productos
<b>Sistema Satelital de Monitoreo Forestal (SAMOF)</b>	Conjunto de procesos, herramientas, insumos y definiciones para cuantificar los cambios en la cobertura forestal del país, incluyendo la evaluación de las tasas de deforestación, degradación forestal y regeneración/reforestación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ LGDFS (Arts. 46 y 49)</li> <li>➤ ENAREDD+ (C4, LA1.1)</li> <li>➤ Estatuto Orgánico CONAFOR (Art. 17)</li> <li>➤ PRONAFOR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Mapas de cobertura forestal y de cambios de cobertura forestal</li> <li>❖ Malla de referencia (muestreo sistemático de la cobertura forestal)</li> </ul>
<b>Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS)</b>	Instrumento de política pública forestal e información de interés nacional, para la recopilación en campo y generación de información periódica y comparable sobre el estado de los ecosistemas forestales a nivel nacional.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ LGDFS (Arts. 46, 47 y 48)</li> <li>➤ LSNIEG</li> <li>➤ Estatuto Orgánico CONAFOR (Art. 17)</li> <li>➤ PRONAFOR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Bases de datos de 3 ciclos quinquenales de levantamiento en campo</li> <li>❖ Informes periódicos sobre resultados del INFyS</li> <li>❖ Zonificación forestal</li> </ul>
<b>Sistema Nacional de Monitoreo, Reporte y Verificación para REDD+</b>	Sistema para generar información sobre las emisiones de GEI debidas a la deforestación y degradación forestal y sobre las absorciones por los ecosistemas forestales, y otros reportes de mitigación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ LGDFS (Art. 46)</li> <li>➤ ENAREDD+ (C4)</li> <li>➤ Estatuto Orgánico CONAFOR (Art. 17)</li> <li>➤ PRONAFOR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para el sector 3B. Tierra.</li> <li>❖ Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (Nacional)</li> <li>❖ Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (Subnacional-FCPF)</li> <li>❖ Reportes de Mitigación del Sector Forestal (incluyendo línea base y monitoreo de NDC)</li> </ul>

Desde 2014, la CONAFOR opera el SNMRV para REDD+ y desde ese año este sistema ha sido utilizado para elaborar los reportes nacionales para la CMNUCC en materia de mitigación. En 2014 se elaboró

el primer NREF y posteriormente el INEGEI-USCUSS para el 1er BUR. Durante 2018, este instrumento también fue utilizado para preparar el INEGyCEI (sector 3B. Tierra) como parte de la 6ª Comunicación Nacional y el 2º BUR<sup>6</sup>. También se empleó para calcular el potencial de mitigación de las metas específicas de la NDC para el sector forestal<sup>7</sup>.

A continuación, se resumen las principales atribuciones institucionales en materia de reportes de mitigación en el sector forestal:

**Cuadro 2.** Atribuciones y arreglos institucionales en materia de reportes de mitigación en el sector forestal de México

Institución	Atribuciones	Mandato legal	Rol en el NREF actual
<b>INECC</b>	Integrar la información para elaborar las Comunicaciones Nacionales y los Informes Bienales de Actualización. Formular y adoptar metodologías y criterios, expedir las disposiciones jurídicas que se requieran para la elaboración, actualización y publicación del inventario.	LGCC	Fomentar la consistencia metodológica entre el NREF y el INEGEI de las Comunicaciones Nacionales y los BUR, incluyendo la línea base para la NDC del sector forestal.
<b>CONAFOR</b>	Generar la información sobre la reducción de emisiones derivadas de acciones de prevención y combate de la deforestación y degradación forestal. Establecer, operar y mantener el sistema nacional de monitoreo forestal y construir el nivel de referencia de emisiones del sector forestal del país. Proveer la información al INECC en materia de mitigación en el sector forestal, incluyendo el INEGEI para el sector 3B. Tierra y la NDC para el sector forestal.	LGDFS	Elaborar el NREF de acuerdo con los requerimientos de la CMNUCC. Someter el NREF a la CMNUCC, a través la Secretaría de Relaciones Exteriores. Mantener consistencia metodológica entre el NREF y el INEGEI de las Comunicaciones Nacionales y los BUR, incluyendo la línea base para la NDC del sector forestal.
<b>INEGI</b>	Generar información geoespacial de interés nacional sobre la distribución del uso del suelo agrícola, de la vegetación natural e inducida, incluyendo el uso pecuario y forestal y otros usos relacionados con la cubierta vegetal.	LSNIEG	Proveer insumos y asesoría para el NREF (Criterios del Sistema de Clasificación de Uso de Suelo y Vegetación).

### 3. ANTECEDENTES DEL ACTUAL NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES

#### 3.1. Los Inventarios Nacionales de Emisiones de GEI y el primer NREF

En respuesta a la invitación de la CMNUCC y de acuerdo con la decisión 12/CP.17, México sometió su primer NREF el 8 de diciembre de 2014. Este NREF fue sometido a una evaluación técnica durante 2015. La versión final del NREF y el reporte de la evaluación técnica fueron publicados a finales de 2015<sup>8</sup>.

El primer NREF es consistente con el INEGEI-USCUSS que fue presentado ante la CMNUCC en 2015 como parte del 1er BUR. Este alto nivel de consistencia entre las estimaciones del 1er NREF y el INEGEI-USCUSS obedece a razones tanto institucionales como técnicas: (i) Ambos reportes fueron elaborados

<sup>6</sup> México. Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Disponible en <https://cambioclimatico.gob.mx/sexta-comunicacion/>

<sup>7</sup> Rutas de instrumentación de las contribuciones nacionalmente determinadas en materia de absorción y mitigación de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (GYCEI) en el sector de uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (USCUSS) en México. Disponible en <http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/257>

<sup>8</sup> Mexico's Forest reference emission level proposal. Disponible en <https://redd.unfccc.int/submissions.html?country=mex>

por el mismo equipo técnico del SNMRV para REDD+ (en la actualidad, una parte importante de dicho equipo técnico continúa operando el sistema en la CONAFOR, con un avance sustancial en la preservación de las capacidades técnicas), (ii) se utilizaron los mismos insumos, y (iii) el enfoque metodológico tuvo un alto grado de similitud.

Antes del primer NREF y del 1er BUR, México presentó cinco comunicaciones nacionales ante la Convención (1997, 2001, 2006, 2010 y 2012). En cada una de ellas, se integraron los inventarios de emisiones para los sectores equivalentes al sector 3B. Tierra (CUSS o USCUS), dependiendo de las directrices del IPCC anteriormente empleadas. Estos inventarios han evolucionado no sólo en la aplicación de las metodologías del IPCC, sino en las fuentes de información y arreglos institucionales para la obtención de datos de actividad y factores de emisión más acordes con las circunstancias nacionales, y naturalmente en sus periodos históricos y resultados.

El INEGEI-CUSS de la 1ª Comunicación Nacional y el INEGEI-USCUS de la 2ª Comunicación del País, fueron elaborados en un contexto de importantes vacíos de información básica para su compilación. Estos problemas ocasionaron que en dichos reportes se haya aplicado un Tier 1, utilizando simplificaciones en la clasificación de la vegetación y en los parámetros asociados a las emisiones, y usando valores por defecto de la literatura internacional (De Jong *et al.*, 2006).

A partir de la 3ª Comunicación Nacional, los INEGEI-USCUS comenzaron a estimar las emisiones a partir de datos de actividad y factores de emisión nacionales. Las series cartográficas de uso de suelo y vegetación del INEGI se convierten en el insumo principal para obtener las superficies de las principales clases de cobertura vegetal y su dinámica de cambio. De ahí en adelante, el uso de la cartografía de INEGI permitió mantener un alto nivel de coherencia, al menos en los datos de actividad, en todos los periodos históricos analizados en cada inventario.

El INEGEI-USCUS correspondiente al 1er BUR y el primer NREF también utilizaron el enfoque de sobreposición de las series de INEGI para determinar los datos de actividad. Este enfoque consiste en sobreponer geográficamente dos mapas de coberturas para obtener un mapa de cambios de coberturas, cuyo periodo es la diferencia de años entre los mapas dos mapas insumo. Además, ambos reportes emplearon por primera vez los datos del primer ciclo del INFyS para estimar los factores de emisión a nivel nacional y con un alto grado de detalle por grupo de vegetación.

De manera equivalente a la evaluación técnica del primer NREF, el INEGEI-USCUS del 1er BUR se sometió a un proceso de consulta y análisis internacional (ICA por sus siglas en inglés) en virtud del Acuerdo de París y de conformidad con la decisión 2/CP.17. Ambos procesos de revisión técnica derivaron en la identificación de importantes áreas de mejora técnica futura. Además, tuvieron una amplia coincidencia respecto de las principales áreas de mejora identificadas:

- I. Uso de un área mínima de mapeo de bosque más refinada (puesto que ambos reportes emplearon 50 ha como área mínima de bosque, debido a la disponibilidad de insumos).
- II. Estimación de las incertidumbres asociadas a los datos de actividad.
- III. Estimación de las emisiones por degradación forestal y separación de las emisiones derivadas de incendios forestales de las emisiones asociadas con la deforestación.
- IV. Inclusión de los cinco reservorios de carbono, con énfasis en la inclusión del reservorio de madera muerta.
- V. Mejoras metodológicas para la generación de factores de emisión con el uso de etiquetas de campo de los conglomerados (CGL) del INFyS.
- VI. Mejorar el análisis de los factores de emisión para el reservorio de Carbono Orgánico en Suelos.
- VII. No utilizar Cairns para estimar biomasa subterránea.
- VIII. Propagar incertidumbres con Método de Monte Carlo.

La mayoría de estas áreas de mejora fueron consideradas e incluidas en el INEGyCEI-USCUS como parte de la 6ª Comunicación Nacional y el 2o BUR que México presentó ante la CMNUCC a finales de

2018<sup>9</sup>. Enseguida se presenta un resumen de las mejoras e innovaciones metodológicas de dicho inventario respecto de todos los inventarios anteriores:

**Cuadro 3.** Mejoras e innovaciones metodológicas en el INEGyCEI-USCUSS de la 6ª Comunicación Nacional y el 2o BUR.

MEJORAS METODOLÓGICAS	ACTIVIDADES ESPECÍFICAS	EFFECTOS EN LAS ESTIMACIONES
Estimación de incertidumbres de los datos de actividad	Análisis de exactitud temática de los mapas de cambios generados con Series de USyV del INEGI Estimación de áreas insesgadas y estimación de incertidumbres de los datos de actividad, con base en (Olofsson <i>et al.</i> , 2014; Olofsson <i>et al.</i> , 2013)	Disminución de la magnitud de la tasa de deforestación Tendencias más estables (suavización de gráficas de deforestación) Convergencia entre áreas mapeadas y áreas insesgadas en el último mapa de cambios (que se considera el de mejor calidad)
Mejor uso de los factores de emisión por degradación forestal	Uso de datos de dos ciclos completos del INFyS Exclusión de emisiones por incendios forestales para evitar doble contabilidad	Disminución de la magnitud de las emisiones por degradación forestal
Inclusión de los cinco reservorios de carbono	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 ciclos completos del INFyS</li> <li>• Densidades de C para Madera Muerta y Mantillo</li> <li>• 27,000 densidades de madera</li> <li>• 475/199 modelos alométricos (biomasa/volumen)</li> </ul>	Aumento de la magnitud de las emisiones y absorciones de Carbono
Uso de coeficientes Biomasa Subterránea según IPCC (2006)	Se estimó la BS empleando las razones BS/BA (R) sugerida por las Directrices IPCC (2006) en función de las densidades de BA y las Ecorregiones	Aumentó el valor de las densidades de BS
Mejora de los factores de emisión para Carbono Orgánico en Suelos	Estratificación por tipos de suelos y tipos de vegetación y uso consistente de los FE para las diferentes transiciones con valores nacionales	En el primer BUR y en el anterior NREF en numerosos casos la transición de TF-TNF* resultaba en absorciones en lugar de emisiones, lo que era una inconsistencia metodológica. En la 6ª CN, esta área de oportunidad fue corregida y el resultado de las transiciones fueron emisiones
Intensificación de controles de calidad de los procesos de estimación	Control de calidad de bases de datos Validaciones cruzadas	Ninguno
Propagación de incertidumbres con el método de simulación numérica (Monte Carlo)	Se estimó la incertidumbre de DA por primera ocasión con lo cual fue posible propagar las incertidumbres de los DA y FE empleando tanto el método analítico como el de simulación numérica	Se integró una fuente adicional de incertidumbre correspondiente a los DA y éstos se propagaron más adecuadamente; por lo que los valores de las incertidumbres propagadas fueron mayores a los reportados en los informes previos

\*TF= Tierras forestales TNF= Tierras no Forestales

Las mejoras metodológicas del INEGyCEI-USCUSS de la 6ª CN produjeron estimaciones de superficies y emisiones por deforestación y degradación forestal considerablemente menos sesgadas que las de todos los inventarios anteriores y que el primer NREF. Un ejercicio de la magnitud del análisis de incertidumbre de los mapas de cambios producidos con las Series de INEGI a nivel nacional no había sido desarrollado en el país hasta ese inventario.

No obstante, estas mejoras metodológicas, el proceso de elaboración del INEGyCEI-USCUSS de la 6ª CN enfrentó grandes retos para disminuir el área mínima de mapeo de los bosques del país. A pesar

<sup>9</sup> México. Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Disponible en: <https://cambioclimatico.gob.mx/sexta-comunicacion/>

de que la unidad de muestreo para el análisis de incertidumbre consistió en 1 ha, el uso de las series de INEGI preservó la limitación de 50 ha como unidad mínima mapeable de los tipos de vegetación.

## **3.2. El Sistema Satelital de Monitoreo Forestal de México**

Con la finalidad de producir información geoespacial sobre la cobertura forestal del país y su dinámica, con mayor resolución espacial y temporal, México está consolidando su Sistema Satelital de Monitoreo Forestal (SAMOF), como uno de los pilares básicos de su Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF). El Sistema SAMOF está implementando dos enfoques complementarios para generar mejor información sobre las variaciones de la superficie de tierras forestales (enfoque pared a pared y muestreo sistemático) que permita atender las recomendaciones de mejora para refinar el área mínima de mapeo de los bosques de México.

### **3.2.1. Enfoque Wall to Wall**

El núcleo de procesamiento semiautomatizado del enfoque wall to wall del sistema SAMOF tiene sus antecedentes en el software MAD-Mex. Este software surgió en el marco del Proyecto “Fortalecimiento del proceso de preparación para REDD+ en México y fomento a la Cooperación Sur-Sur”, implementado por la CONAFOR de 2012 a 2016 y financiado por el Gobierno de Noruega. Este software fue desarrollado en estrecha colaboración interinstitucional entre CONAFOR, CONABIO e INEGI. En términos del nivel de financiamiento, la CONAFOR aportó alrededor del 71% del costo total de este software, que incluye el costo de desarrollo, de insumos, de hardware y de las etapas piloto de post-procesamiento.

MAD-Mex es un software de procesamiento de imágenes de satélite, principalmente de los sensores Landsat y Sentinel. Este software está desarrollado en el lenguaje de programación Python (Gebhardt *et al.*, 2014) y actualmente está alojado y en funcionamiento en la nube de Amazon Web Service (AWS). MAD-Mex tienen como uno de sus objetivos, la generación de mapas de cobertura a nivel nacional, a partir de la segmentación (segmentador de Berkeley) y clasificación automatizada orientada a objetos (clasificador C5) de compuestos multitemporales de imágenes Landsat. Posteriormente a este proceso semiautomatizado con MAD-Mex, se considera la implementación de un proceso de interpretación visual para revisar, corregir y ajustar el producto de cobertura con la finalidad de generar un mapa de referencia que sirva como base para el monitoreo de las áreas forestales en el país (GOFC-GOLD, 2015).

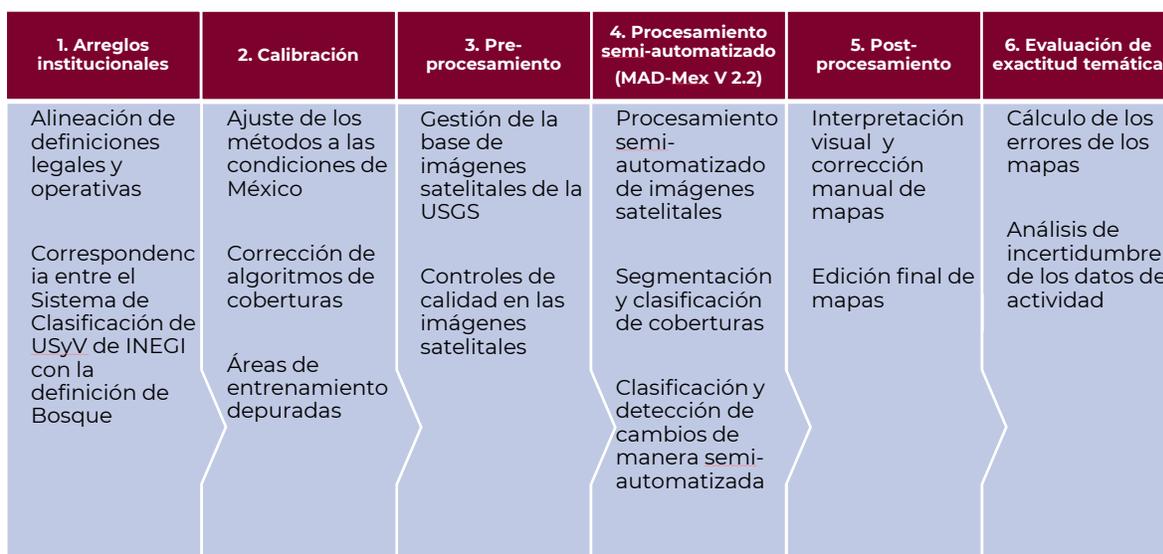
Otro de los objetivos del software es la generación preliminar de mapas de cambios de coberturas a nivel nacional, en periodos de tiempo específicos y definidos de acuerdo con las necesidades de la CONAFOR. Para la detección y mapeo de los polígonos de cambio se hace uso del algoritmo iMAD-MAF (iterative Multivariate Alteration Detection transformation), el cual se basa en el análisis bitemporal de los compuestos Landsat para generar mapas preliminares de cambio. Posteriormente, mediante un proceso de interpretación visual, se revisan y separan los polígonos de cambio que realmente corresponden a un cambio de cobertura y se descartan aquellos polígonos que corresponden a “falsos positivos” generados por el algoritmo implementado en el software.

De 2016 a 2018, la CONAFOR ha implementado una serie de mejoras sustanciales al software, con la finalidad de generar productos con una calidad adecuada y para hacer más costo-efectiva la producción de mapas con el sistema SAMOF. La versión 2.2 de MAD-Mex que opera la CONAFOR presenta mejoras para eficientizar sus objetivos: (a) cuenta con una interfaz gráfica amigable para el usuario, (b) se integró el procesamiento de imágenes Sentinel 2 con una resolución de 10 m (lo que permite generar información con mayor resolución espacial para el nivel subnacional), (c) se ha homogenizado y depurado el código de los scripts en Python, además de su adecuación para su correcto funcionamiento en la nube de Amazon, (d) se ha programado e implementado un algoritmo para la reducción de los problemas de bandedo en las imágenes Landsat 7, (e) como opción al uso de segmentadores licenciados (segmentador de Berkeley), se han integrado segmentadores de código abierto como SLIC y SLICO (Fast Linear Interactive Clustering), (f) se han generado los

metadatos relacionados con el pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento de los mapas de cobertura y cambios de coberturas, y (g) se generó la documentación de todos los procesos y algoritmos de MAD-Mex.

La versión 2.2 de MAD-Mex ha permitido que la CONAFOR cuente con una herramienta: (i) plenamente operativa en la CONAFOR a través de los servicios de la nube AWS, (ii) corregida a nivel de algoritmos y con procesos documentados y estandarizados, (iii) diseñada de acuerdo a las necesidades específicas de reporte de la institución, (iv) operativa y alineada a las definiciones de la legislación mexicana y del IPCC, y (v) administrada, implementada y mejorada por técnicos nacionales de la CONAFOR.

El enfoque Wall to Wall del Sistema SAMOF es, sin embargo, un sistema más amplio y de mayor alcance que el software MAD-Mex. El procesamiento semiautomatizado es sólo uno de los pasos que integran el proceso lógico de este enfoque, que se muestra en la **Figura 8**.



**Figura 8.** Proceso del enfoque del Sistema SAMOF

La cadena de producción completa del sistema SAMOF ha sido implementada por primera vez para la generación de mapas de coberturas y mapas de cambios de coberturas para 6 estados, incluyendo los 5 estados de la Iniciativa de Reducción de Emisiones (programa de reducción de emisiones en el marco del FCPF-CF). En el **Cuadro 4**, se sintetizan las características logradas para dicha cartografía.

Durante la implementación de esta cadena de producción a nivel subnacional, la CONAFOR ha consolidado sus capacidades técnicas y organizativas para generar cartografía de alta calidad. Sin embargo, también se han obtenido lecciones aprendidas acerca de la complejidad técnica y los altos costos de producción de estos mapas. Las fases de post-procesamiento y de evaluación de exactitud temática son las más complicadas en términos de la cantidad de recursos humanos y financieros que se necesitan para obtener productos adecuados para los reportes institucionales.

Para poder escalar la cadena de producción a todo el país, es necesario aumentar el número de especialistas en interpretación visual para atender las revisiones manuales que son necesarias después de la fase de producción semi-automatizada. La estructura operativa de la CONAFOR no ha contado históricamente con el equipo suficiente de especialistas para realizar estas tareas, debido a que el Sistema SAMOF es un instrumento reciente y de vanguardia. Esta situación se ha agudizado con los recortes presupuestales que ha sufrido la institución.

**Cuadro 4.** Características técnicas de los productos cartográficos del Sistema SAMOF

Características	Mapas de Cobertura*	Mapas de Cambio de Cobertura
Cobertura espacial	Subnacional (Campeche, Chiapas, Jalisco, Quintana Roo y Yucatán)	Subnacional (Campeche, Chiapas, Jalisco, Quintana Roo y Yucatán)
Año base o periodos	2000, 2016	2000-2003, 2003-2011, 2011-2014, 2014-2016, 2016-2018
Proyección cartográfica	Cónica Conforme de Lambert (4326 Authority: EPSG)	Cónica Conforme de Lambert (4326 Authority: EPSG)
Sistema Geodésico de Referencia	D_WGS_1984	D_WGS_1984
Unidad Mínima Mapeable	1 ha	1 ha
Escala	1:75,000	1:75,000
Insumos	Compuesto derivado del promedio de la serie de tiempo de imágenes Landsat 5 y 7 para el 2000 y Landsat 8 para el 2016	métricas de las imágenes del compuesto derivado del promedio de la serie de tiempo de imágenes Landsat 5, 7 y 8 de acuerdo al periodo
Exactitud temática	86 % global	72 % global
Resolución temática	34 clases de cobertura	36 clases potenciales (basadas en las 6 categorías IPCC)
Actualización	Cada 2 años, a partir de 2018	Cada 2 años, a partir de 2018

\*Mapas disponibles en <https://samofcobertura.forest2020-mx.ourecosystem.com/interface/>

La CONAFOR cuenta con una estrategia a mediano plazo para implementar el enfoque wall to wall para generar mapas de cambios de cobertura forestal a nivel nacional, priorizando los periodos más recientes para apoyar el diseño de políticas públicas durante la presente administración federal. Los elementos principales de esta estrategia son: (i) Preservar las capacidades técnicas nacionales para operar el sistema SAMOF, (ii) Ampliar el número de especialistas en interpretación visual para escalar el enfoque a todo el país, (iii) Establecer arreglos institucionales con gobiernos estatales clave para hacer sinergias en sus respectivas jurisdicciones, y (iv) Explorar el uso de nuevos algoritmos de detección de cambios para reducir el tiempo de post-procesamiento, incluyendo la exploración de enfoques de machine learning.

### 3.2.2. Enfoque de muestreo sistemático para el NREF

La CONAFOR está implementando un muestreo sistemático como un enfoque costo-efectivo, paralelo y complementario al enfoque wall to wall, para generar información geoespacial sobre la dinámica de la cobertura de bosques de México, capaz de resolver necesidades concretas y apremiantes para la institución, mientras se continúan desarrollando los mapas de cambios de cobertura forestal para todo el país.

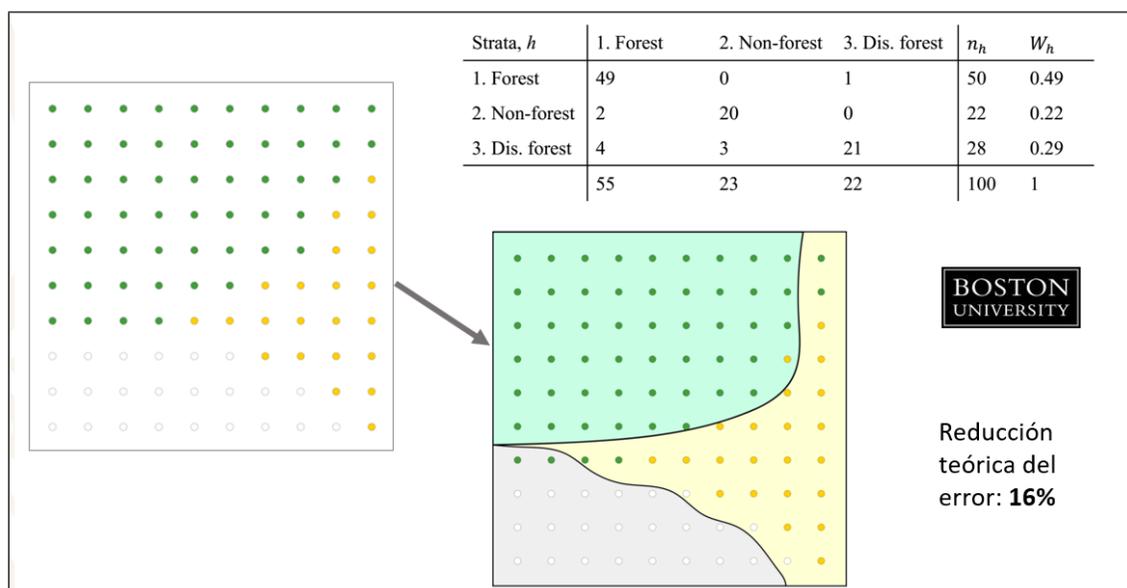
El muestreo sistemático para evaluar las conversiones de la superficie de tierras forestales en el país toma como base el diseño de muestreo del INFyS de México, que es un diseño sistemático estratificado de acuerdo con las grandes formaciones forestales presentes en el país: bosques y selvas, comunidades semiáridas y comunidades áridas. El proceso de clasificación de cobertura y uso del suelo de las unidades de muestreo se realiza mediante la interpretación visual aumentada de imágenes satelitales de mediana y alta resolución.

El presente NREF utiliza este enfoque para la estimación de la dinámica de la superficie forestal del país. El enfoque de muestreo permite, junto con los datos del INFyS, conocer las emisiones asociadas a la deforestación y a una parte importante de la degradación forestal, mediante el enfoque “stock difference” (ver capítulo 6 para mayor detalle). La elección de este enfoque se basó en: (i) Costo-efectividad del método de muestreo sistemático, (ii) Resultados satisfactorios de una prueba piloto para estimar tasas de deforestación a nivel nacional, (iii) Evitación de incertidumbres clásicas y sesgos relacionados con extrapolaciones de métodos basados en mapeo, (iv) Lecciones aprendidas del

enfoque wall to wall, y (v) Recomendaciones para utilizar este método por parte de la FAO y el Banco Mundial.

### 3.3. Enfoque escalonado para evaluar la dinámica de la cobertura forestal en México

La CONAFOR tiene planeado mejorar la evaluación de la dinámica de las superficies de tierras forestales en México, mediante una combinación del muestreo sistemático con el enfoque wall to wall. Las estimaciones de las superficies de bosques, de deforestación y de degradación forestal pueden ser mejoradas a través de una post-estratificación del muestreo sistemático, basada en los mapas de coberturas y cambios de coberturas del Sistema SAMOF (**Figura 9**).



**Figura 9.** Post-estratificación del muestreo sistemático, basada en los mapas de coberturas y cambios de coberturas del Sistema SAMOF. Fuente: Olofsson, 2018.

Estudios preliminares de Olofsson (2018) indican que es posible reducir hasta en un 16% las incertidumbres de las tasas de cambio estimadas mediante la combinación de ambos enfoques. Un enfoque combinado tendría la ventaja de disminuir considerablemente las incertidumbres de las variaciones de la cobertura forestal de México, al tiempo que brinda información básica para el diseño de programas y proyectos de mitigación en el sector forestal, con información espacialmente explícita.

## 4. INFORMACIÓN TRANSPARENTE, COMPLETA, COHERENTE Y EXACTA

El Anexo de la decisión 12/CP.17 establece que la información proporcionada en el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales y/o el Nivel de Referencia Forestal debería guiarse por las orientaciones y directrices más recientes del IPCC, e incluir la información transparente, completa, coherente y exacta, incluida la información metodológica, que se utilizó para elaborar dicho reporte.

El presente NREF ha sido elaborado de acuerdo con las directrices y procedimientos contenidos en las decisiones de la CMNUCC (UNFCCC, 2011, 2012), e IPCC (2006), dando cumplimiento a los principios de transparencia, completitud, coherencia y exactitud mencionados en la Decisión 12/CP.17.

### 4.1. Transparencia

Este principio implica que las fuentes de datos, los supuestos, las metodologías y los procedimientos utilizados para el NREF deben explicarse claramente, a fin de facilitar la replicación y evaluación del NREF por parte de los usuarios y/o revisores de la información reportada.

Durante la construcción de este reporte, se aplicaron y siguieron los siguientes mecanismos para asegurar el apego al principio de transparencia:

- El NREF está estructurado siguiendo la secuencia lógica de estimación y de acuerdo con los requerimientos del Anexo de la Decisión 12/CP.17.
- El anexo metodológico contiene explicaciones exhaustivas sobre los insumos, enfoques, métodos, modelos, y supuestos empleados.
- Los métodos de estimación y sus resultados preliminares fueron socializados con especialistas nacionales e internacionales (UNAM, Banco Mundial, US Forest Service, Programa Silva Carbon, Programa ONU-REDD) para recibir retroalimentación.
- En el caso de la omisión de actividades, reservorios y gases en este NREF, se proporcionan justificaciones de su omisión y propuestas de mejora futura.

#### **4.2. Completitud**

Según el Anexo de la Decisión 12/CP.17, la completitud de la información se entiende como “una información que permita la reelaboración de los niveles de referencia de las emisiones forestales y/o los niveles de referencia forestal”. Para apegarse a este principio, se realice lo siguiente:

- La información utilizada para el desarrollo del NREF se encuentra disponible de modo accesible en su totalidad, en este documento principal y en su anexo metodológico, lo que permite su reconstrucción.
- Las bases de datos generadas como productos intermedios y finales se ponen a disposición a través de links.

#### **4.3. Coherencia o consistencia**

Según el IPCC (2006), consistencia significa que un inventario de GEI (en este caso el NREF) debe ser internamente consistente para todos los años reportados en todos los elementos de todos los sectores, categorías y gases. Un inventario es consistente si se usan las mismas metodologías para el año base y todos los años subsecuentes y si se usan conjuntos de datos consistentes para estimar emisiones o absorciones de fuentes o sumideros. En determinadas circunstancias, un inventario que utiliza diferentes metodologías para diferentes años puede considerarse coherente si se ha recalculado nuevamente de manera transparente.

El presente NREF es consistente internamente ya que utiliza los mismos insumos, las mismas metodologías para estimar las emisiones en todos los años del periodo analizado. No se tuvo la necesidad de cambiar un método específico para algún año del periodo de referencia.

Respecto de la consistencia entre el presente NREF y el último INEGyCEI-USCUSS de la 6ª CN, a lo largo del documento se describen las diferencias metodológicas, de insumos y de definiciones utilizados en ambos reportes. Aun cuando existen dichas diferencias, debidas a la disponibilidad de insumos, a la evolución del Sistema Nacional de Monitoreo Forestal Mexicano y a decisiones que consideran la costo-eficiencia de los enfoques metodológicos, las cifras entre ambos reportes son consistentes en el sentido de que no implican contradicciones entre los resultados de ambos informes.

#### **4.4. Exactitud**

Según el volumen 3 de las directrices IPCC 2006, la exactitud es el acuerdo entre el valor real y el promedio de observaciones o estimaciones medidas reiteradas de una variable. En otras palabras, una medición o predicción exacta carece de sesgo o, de forma equivalente, de errores sistemáticos. El enfoque metodológico de estimación del presente NREF permite utilizar de manera más correcta y directa los insumos con los que cuenta el país, y cumplir de mejor manera con los supuestos de

estos métodos. En este NREF no se utilizaron aproximaciones de escala nacional (con baja incertidumbre) pero con alto sesgo para caracterizar procesos locales (ver sección 10.3 y anexo metodológico).

Bajo esta consideración, la estimación del presente NREF fue obtenida bajo un enfoque que utiliza que aumenta la exactitud, pero que puede incrementar la incertidumbre debido a que las magnitudes de las variaciones de las existencias de Carbono son menores que los errores de las estimaciones, aun cuando estos son considerablemente pequeños (ver sección 10.3 y anexo metodológico).

## 5. DEFINICIONES

### 5.1. Definición de bosque

#### 5.1.1. Definición legal

Con base en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS)<sup>10</sup> un "Terreno Forestal" es aquél que está cubierto por vegetación forestal y produce bienes y servicios forestales (Art. 7, Frac. LXXI). La misma Ley define "**vegetación forestal**" como el conjunto de plantas y hongos que crecen y se desarrollan en forma natural, formando bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas, y otros ecosistemas, dando lugar al desarrollo y convivencia equilibrada de otros recursos y procesos naturales (Art. 7, Frac. LXXX).

En el Reglamento de la LGDFS (RLGDFS)<sup>11</sup> se hace una diferenciación entre Bosque, Selva y Vegetación Forestal de Zonas Áridas para especificar a la vegetación forestal de las tres zonas climáticas generales del país: templada, tropical y árida o semiárida. Dicho reglamento establece que los tres tipos de vegetación deben formar masas mayores a 1,500 metros cuadrados para ser considerados como tal. Además, en el RLGDFS se indica que los bosques y selvas están compuestos predominantemente por especies leñosas y perennes con una cobertura de dosel superior al 10% de la superficie que ocupa.

#### 5.1.2. Definición IPCC

Con base en el IPCC (2006), Tierra forestal comprende toda la tierra con vegetación leñosa (maderera) consistente con los umbrales utilizados para definir las tierras forestales en el Inventario nacional de gases de efecto invernadero, subdivididas a nivel nacional cultivadas y no cultivada, por tipo de ecosistemas como se especifica en las Directrices IPCC. También incluye aquellos sistemas con una estructura de vegetación que, aunque actualmente son inferiores, podrían potencialmente alcanzar *in situ* los valores de los umbrales utilizados por un país para definir la categoría de tierra forestal.

#### 5.1.3. Definición operativa

Para fines de este Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF) se define como "Bosque" a los Terrenos o Tierras forestales con una cobertura de dosel superior al 10%, con especies leñosas de más de 4 metros de altura, o capaces de alcanzar dicha condición *in situ*, y con una extensión mínima de 1 ha.

De manera operativa, en esta definición de "Bosque" se incluyeron todos aquellos tipos de vegetación que, de acuerdo con los criterios fisonómico-estructurales, tienen dominancia de especies leñosas de porte arbóreo, tales como bosques templados y selvas. Además, se incluyeron los tipos de vegetación de matorrales xerófilos, vegetación hidrófila y otros tipos, con dominancia de especies leñosas de porte arbustivo y arborescente. No se incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano.

---

<sup>10</sup> Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. DOF 05-06-2018.

<sup>11</sup> Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. DOF 31-10-2014.

Esta definición de “Bosque” (o Tierras Forestales) es consistente con el proceso de consulta de la ENAREDD+, el cual derivó en recomendaciones de usar una definición más amplia para cumplir con el objetivo de la implementación de REDD+ de una manera incluyente (CONAFOR, 2017).

La definición establecida busca tener la mayor consistencia con la definición de Tierras Forestales del IPCC y con la definición legal de Terrenos Forestales de México, considerando las recomendaciones de la consulta de la ENAREDD+.

Si bien la legislación mexicana<sup>12</sup> considera una extensión mínima de 0.15 ha, en la definición del presente NREF se consideró 1 ha como la superficie mínima que debe cubrir una tierra forestal para ser considerada como “Bosque”. Esta decisión operativa fue tomada para tener consistencia con los criterios del IPCC y con base en las características técnicas de la información geoespacial del Sistema Satelital de Monitoreo Forestal (SAMOF).

### Correspondencia con el sistema de clasificación de uso de suelo y vegetación del INEGI

Uno de los principales criterios de la definición de Bosque fue la inclusión de la vegetación leñosa para que sea considerada “Tierra Forestal (TF)” consistente con el IPCC (IPCC, 2003, 2006), por lo que los distintos tipos de vegetación (sensu INEGI, 2016a) se clasificaron en las clases IPCC, de acuerdo a lo descrito en el Diccionario de datos de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 (INEGI, 2017b). A continuación (**Cuadro 5**), se indican los tipos de vegetación (sensu INEGI) que se incluyen como Bosque o Tierras Forestales y los tipos de vegetación por casa clase IPCC.

**Cuadro 5.** Tipos de uso de suelo y vegetación (USyV) de INEGI por clase del IPCC con base en sus características fisonómico-estructurales.

Clases IPCC	Clave INEGI	Descripción de Tipos USyV INEGI
Tierras Forestales	BS	Bosque de Ayarín
Tierras Forestales	BB	Bosque de Cedro
Tierras Forestales	BQ	Bosque de Encino
Tierras Forestales	BQP	Bosque de Encino-Pino
Tierras Forestales	BC	Bosque de galería
Tierras Forestales	MK	Bosque de Mezquite
Tierras Forestales	BA	Bosque de Oyamel
Tierras Forestales	BP	Bosque de Pino
Tierras Forestales	BPQ	Bosque de Pino-Encino
Tierras Forestales	BJ	Bosque de Tascate
Tierras Forestales	BM	Bosque Mesófilo de Montana
Tierras Forestales	MJ	Matorral de coníferas
Tierras Forestales	BC	Plantación Forestal
Tierras Forestales	BI	Bosque inducido
Tierras Forestales	VM	Manglar
Tierras Forestales	PT	Vegetación de Peten
Tierras Forestales	ML	Chaparral
Tierras Forestales	MC	Matorral Crasicaule
Tierras Forestales	MET	Matorral Espinoso Tamaulipeco
Tierras Forestales	MRC	Matorral Rosetófilo Costero
Tierras Forestales	MSC	Matorral Sarcocaulé
Tierras Forestales	MSCC	Matorral Sarco-Crasicaule
Tierras Forestales	MSN	Matorral Sarco-Crasicaule de Neblina
Tierras Forestales	MSM	Matorral Submontano
Tierras Forestales	MST	Matorral Subtropical
Tierras Forestales	MKX	Mezquital Desértico
Tierras Forestales	MKE	Mezquital Tropical
Tierras Forestales	VG	Vegetación de Galería
Tierras Forestales	VPI	Palmar Inducido
Tierras Forestales	VPN	Palmar Natural

<sup>12</sup> En el Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.

Clases IPCC	Clave INEGI	Descripción de Tipos USyV INEGI
Tierras Forestales	SAP	Selva Alta Perennifolia
Tierras Forestales	SAQ	Selva Alta Subperennifolia
Tierras Forestales	SBQ	Selva Baja Espinosa Subperennifolia
Tierras Forestales	SBP	Selva Baja Perennifolia
Tierras Forestales	SBQP	Selva Baja Subperennifolia
Tierras Forestales	SG	Selva de Galería
Tierras Forestales	SMP	Selva Mediana Perennifolia
Tierras Forestales	SMQ	Selva Mediana Subperennifolia
Tierras Forestales	SBC	Selva Baja Caducifolia
Tierras Forestales	SBK	Selva Baja Espinosa Caducifolia
Tierras Forestales	SBS	Selva Baja Subcaducifolia
Tierras Forestales	SMC	Selva Mediana Caducifolia
Tierras Forestales	SMS	Selva Mediana Subcaducifolia
Tierras Agrícolas	HA	Agricultura de Humedad
Tierras Agrícolas	HAP	Agricultura de Humedad
Tierras Agrícolas	HAS	Agricultura de Humedad
Tierras Agrícolas	HP	Agricultura de Humedad
Tierras Agrícolas	HS	Agricultura de Humedad
Tierras Agrícolas	HSP	Agricultura de Humedad
Tierras Agrícolas	RA	Agricultura de Riego
Tierras Agrícolas	RAP	Agricultura de Riego
Tierras Agrícolas	RAS	Agricultura de Riego
Tierras Agrícolas	RP	Agricultura de Riego
Tierras Agrícolas	RS	Agricultura de Riego
Tierras Agrícolas	RSP	Agricultura de Riego
Tierras Agrícolas	TA	Agricultura de Temporal
Tierras Agrícolas	TAP	Agricultura de Temporal
Tierras Agrícolas	TAS	Agricultura de Temporal
Tierras Agrícolas	TP	Agricultura de Temporal
Tierras Agrícolas	TS	Agricultura de Temporal
Tierras Agrícolas	TSP	Agricultura de Temporal
Praderas	MDM	Matorral desértico Micrófilo
Praderas	MDR	Matorral desértico Rosetófilo
Praderas	VD	Vegetación de desiertos Arenosos
Praderas	VU	Vegetación de Dunas Costeras
Praderas	VY	Vegetación Gipsófila
Praderas	VHH	Vegetación Halófila Hidrófila
Praderas	VH	Vegetación Halófila Xerófila
Praderas	PC	Pastizal Cultivado
Praderas	PY	Pastizal Gipsófilo
Praderas	PH	Pastizal Halófilo
Praderas	PI	Pastizal Inducido
Praderas	PN	Pastizal Natural
Praderas	VW	Pradera de Alta Montana
Praderas	VS	Sabana
Praderas	VSI	Sabanoide
Praderas	VA	Popal
Praderas	VT	Tular
Asentamientos	AH	Asentamientos Humanos
Asentamientos	ZU	Zona Urbana
Humedales	ACUI	acuícola
Humedales	H2O	Cuerpo de Agua
Humedales	PPRERE	Cuerpo de Agua
Otras Tierras	ADV	Desprovisto de Vegetación
Otras Tierras	DV	Sin Vegetación Aparente

#### 5.1.4. Nivel de Consistencia con Reportes Nacionales Anteriores

La definición de bosque usada para la construcción del Nivel de Referencia es consistente en los criterios de porcentaje mínimo de cobertura de dosel, altura mínima de vegetación leñosa y a nivel conceptual de tipos de vegetación con dominancia leñosa con la usada en el INEGyCEI que se presentó como parte del segundo BUR (INECC-SEMARNAT, 2018a) y 6ta Comunicación Nacional (INECC-SEMARNAT, 2018b), así como el primer NREF 2015 (CONAFOR, 2015) y primer BUR. Dichos reportes consideran todos aquellos tipos de vegetación con dominancia de especies leñosas de porte arbóreo, y otros estratos con dominancia de especies leñosas de porte arbustivo y arborescente. La altura mínima de 4 m se considera representativa de la condición estructural de la vegetación forestal de zonas áridas y semiáridas con dominancia de especies leñosas de porte arbustivo y arborescente (sensu INEGI, 2016a, 2017b).

Es importante mencionar que esta definición de tierras forestales incluye todos los tipos de vegetación considerados como “bosque” y algunos tipos de vegetación considerados como “otras tierras boscosas”, según el FRA (FAO, 2014), lo que es consistente con las recomendaciones de la ENAREDD+ (CONAFOR, 2017).

La extensión mínima para considerar un terreno como Bosque, se ajustó de 50 m en reportes previos a 1 ha en el presente NREF, con base en los insumos con mayor resolución generados por el enfoque de muestreo sistemático del sistema SAMOF. Se muestran las definiciones en el **Cuadro 6**.

**Cuadro 6.** Comparación con definiciones de Bosque en reportes anteriores

1er NREF 2015	1er BUR 2015	FRA 2015	6ta CN y 2do. BUR (2018)	2° NREF (2020)
Tierras que se extienden por más de 50 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 4 metros y una cubierta de dosel superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura <i>in situ</i> . No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano.	Esta categoría comprende toda la tierra con vegetación leñosa que es consistente con los umbrales utilizados para definir las tierras forestales en el inventario nacional de GEI subdivididas a nivel nacional, cultivadas y no cultivadas, y también por tipos de ecosistema, según se especifica en las directrices del IPCC. También comprende sistemas con vegetación actualmente inferior al umbral de la categoría de tierras forestales, pero que se espera sea rebasado. La extensión mínima fue de 50 ha con base en los insumos de INEGI.	Tierras que se extienden por más de 0,5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5 metros y una cobertura de copa superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura <i>in situ</i> . No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano <sup>13</sup> . En términos operativos se consideró una superficie de 50 ha.	Superficie con vegetación leñosa coherente con umbrales utilizados para definir las tierras forestales en el inventario nacional, subdivididas, cultivadas y no cultivadas, y también por tipos de ecosistema, según se especifica en las Directrices del IPCC 2006. También abarca sistemas con vegetación inferiores al umbral para la categoría de tierras forestales, pero que potencialmente podría alcanzar los valores utilizados por un país para definir la categoría de tierras forestales. De manera operativa son Tierras Forestales todos aquellos tipos de vegetación que, de acuerdo con los criterios fisonómico-estructurales, tienen dominancia de especies leñosas de porte arbóreo, tales como Bosques y Selvas, además de otros estratos con dominancia de especies leñosas de porte arbustivo y arborescente, como los son Otros Tipos, Matorrales y Vegetación Hidrófila. La extensión mínima fue de 50 ha con base en los insumos de INEGI.	Tierras forestales con una cobertura de dosel superior al 10%, con especies leñosas de más de 4 metros de altura, o capaces de alcanzar dicha condición <i>in situ</i> , y con una extensión mínima de 1 ha. Se incluyeron todos aquellos tipos de vegetación que, de acuerdo con los criterios fisonómico-estructurales, tienen dominancia de especies leñosas de porte arbóreo, tales como bosques templados y selvas. Además, se incluyeron los tipos de vegetación de matorrales xerófilos, vegetación hidrófila y otros tipos, con dominancia de especies leñosas de porte arbustivo y arborescente. No se incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano.

<sup>13</sup> Términos y Definiciones. FRA 2015. FAO, 2012. Evaluación de los recursos forestales Mundiales 2015. Informe Nacional México.

## 5.2. Definición de deforestación

### 5.2.1. Definición legal

La LGDFS define la “deforestación” como la **Pérdida de la vegetación forestal** en forma permanente, por causas inducidas o naturales (Art. 7, Frac. XVIII).

### 5.2.2. Definición IPCC

El IPCC define la deforestación como la conversión directa inducida por el hombre de tierra forestal (boscosa) a tierra no forestal (IPCC, 2019).

### 5.2.3. Definición operativa

El presente NREF incluye las emisiones asociadas a la deforestación bruta. Se consideró como “Deforestación” a la pérdida de cobertura de Bosque (como se define previamente) o reducción de cobertura de dosel por debajo del umbral mínimo (10%), con cambio de uso de suelo forestal a no forestal, de forma permanente.

En términos operativos la “Deforestación” incluyó el conjunto de cambios de cualquier tipo de vegetación de tierras forestales a cualquier tipo de uso de suelo y vegetación de tierras no forestales (praderas, agricultura, humedales, otras tierras o asentamientos humanos). El periodo de análisis fue de 2000 a 2016 y se consideró deforestación cuando después de la pérdida de cobertura forestal, no se presentó recuperación de la cobertura de vegetación leñosa y se existió evidencia de cambio de uso de suelo.

Para identificar un proceso de deforestación se deben cumplir todos los siguientes criterios:

- Cobertura de tierra forestal en el periodo inicial.
- Pérdida de cobertura de vegetación leñosa (tierra forestal) y cambio a cobertura de tierra no forestal (praderas, agricultura, humedales, otras tierras o asentamientos humanos) durante el periodo de análisis.
- Evidencia de cambio de uso de suelo forestal a no forestal.
- No se observa recuperación potencial de la vegetación leñosa similar al bosque antes del disturbio.
- El término no incluye pérdida de cobertura por aprovechamiento forestal o incendios que no causen un cambio de uso.

### 5.2.4. Nivel de Consistencia con Reportes Nacionales Anteriores

La definición del presente NREF es consistente con los reportes previos: NREF 2015 (CONAFOR, 2015), 1er BUR (INECC-SEMARNAT, 2015), e INEGyCEI del segundo BUR (INECC-SEMARNAT, 2018a) y 6ta Comunicación Nacional (INECC-SEMARNAT, 2018b), en los cuales se consideró como “deforestación” el conjunto de cambios de cualquier clase de vegetación de tierras forestales a cualquier clase de uso de suelo y vegetación de tierras no forestales (praderas, agricultura, humedales, otras tierras o asentamientos humanos) (**Cuadro 7**).

**Cuadro 7.** Comparación con definiciones de deforestación en reportes nacionales previos

1er NREF 2015	1er BUR 2015	FRA 2015	6ta CN y 2do. BUR (2018)	2° NREF (2020)
Las tierras forestales que cambiaron a tierras no forestales por avance de la frontera agrícola o urbana	Área que cambió de una fase forestal a cualquier tipo de uso no forestal	La conversión de los bosques a otro tipo de uso de la tierra o la reducción permanente de la cubierta de dosel, por debajo del umbral mínimo del 10 por ciento <sup>14</sup> .	Es el conjunto de cambios de cualquier clase de vegetación de tierras forestales (FL) a cualquier clase de uso de suelo y vegetación de tierras no forestales (tierras praderas, tierras agrícolas, humedales, otras tierras y asentamientos humanos).	Cambio de cualquier tipo de vegetación de tierras forestales a cualquier tipo de uso de suelo y vegetación de tierras no forestales (praderas, agricultura, humedales, otras tierras o asentamientos humanos).

### 5.3. Definición de degradación forestal

#### 5.3.1. Definición legal

La Ley General de Cambio Climático (LGCC) define “Degradación” como la reducción del contenido de carbono en la vegetación natural, ecosistemas o suelos, debido a la intervención humana, con relación a la misma vegetación ecosistemas o suelos, si no hubiera existido dicha intervención (Art. 3, Frac. XV).

En la LGDFS (Art. 7, Frac. XIX) se define “Degradación” como el proceso de disminución de la capacidad de los ecosistemas forestales para brindar servicios ambientales, así como capacidad productiva.

#### 5.3.2. Definición operativa

Para el presente reporte se consideró “degradación forestal” a la disminución de carbono por pérdida de cobertura de bosque asociada a perturbaciones principalmente antrópicas.

Es importante enfatizar que, con base en los insumos, en este reporte solo abordaremos una parte importante de la degradación forestal referida como “Degradación forestal absoluta” (**Figura 10**) que se refiere a la disminución de carbono por remoción o pérdida total de la cobertura de dosel en el Bosque, pero sin cambio de uso de suelo.



**Figura 10.** La “degradación absoluta” representa una porción de la degradación forestal.

En términos operativos, degradación absoluta es la disminución de carbono por pérdida de la cobertura de vegetación leñosa, que no implica un cambio de uso de suelo forestal a no forestal y se espera que la vegetación alcance los parámetros estructurales del bosque previo a la perturbación o

<sup>14</sup> Términos y Definiciones. FRA 2015. FAO. 2012.

parámetros equivalentes a los umbrales mínimos para ser considerado un bosque. Por ejemplo: pérdida de cobertura por aprovechamiento forestal, incendios forestales, plagas forestales y otras perturbaciones naturales.

Los criterios para la identificación de la degradación absoluta fueron:

- Cobertura de vegetación leñosa en el periodo inicial.
- Identificación de remoción total de la vegetación leñosa durante el periodo de análisis.
- No existe evidencia de cambio de uso de suelo forestal a uno no forestal (agrícola, pecuario, asentamientos).

En forma esquemática se presentan los criterios para la identificación de deforestación y degradación (Figura 11).

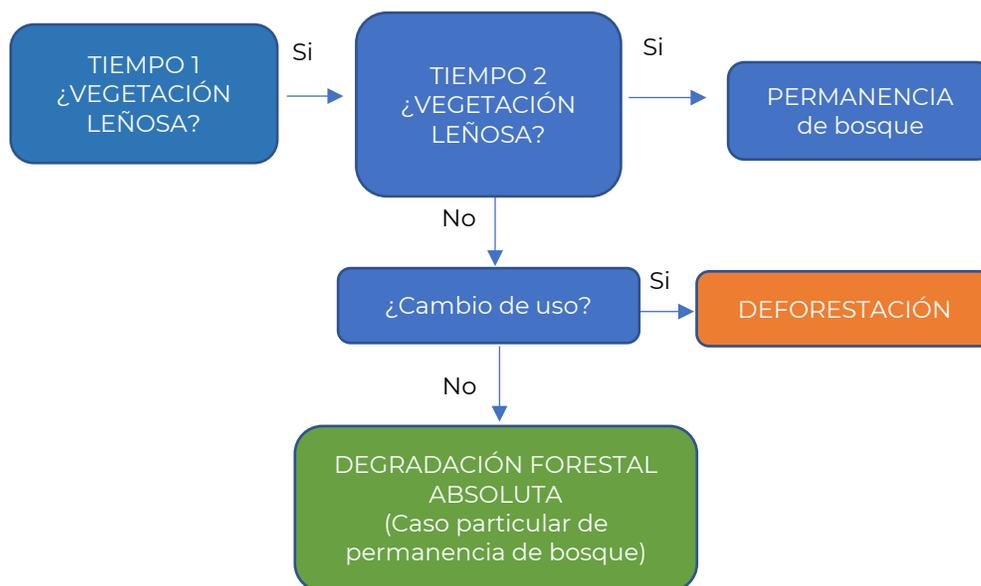


Figura 11. Criterios para la identificación de Deforestación y Degradación forestal

### 5.3.3. Nivel de Consistencia con Reportes Nacionales Anteriores

En los reportes previos del NREF 2015 (CONAFOR, 2015), 1er BUR (INECC-SEMARNAT, 2015), e INEGyCEI de la Sexta CN y 2do BUR (INECC-SEMARNAT, 2018a, 2018b) se consideró "degradación" al conjunto de cambios de una misma clase de vegetación de tierras forestales en fase primaria a la misma clase de vegetación en fase secundaria (INEGI, 2017b) (Cuadro 8). En el presente reporte no se considera la degradación por disminución de carbono en el mismo tipo de vegetación. No obstante, con base en los insumos del enfoque de muestreo del sistema SAMOF, se considera la degradación absoluta que implica la remoción total de la cobertura de dosel.

**Cuadro 8.** Definición de degradación forestal en Reportes nacionales previos

1er NREF 2015	1er BUR 2015	FRA 2015	6ta CN y 2do. BUR (2018)	2° NREF (2020)
Reducción en el contenido de Carbono en la vegetación natural debido a la intervención humana. Aquellas áreas cuya condición primaria, cambió a una secundaria; registrando una pérdida de Carbono de las tierras forestales	Área que cambió de una fase de desarrollo de la vegetación primaria en las categorías de Tierras Forestales, a una de condición secundaria dentro de la categoría de Tierras Forestales	La disminución de la capacidad del bosque para suministrar bienes y servicios <sup>15</sup>	Es el conjunto de cambios de una misma clase de vegetación de FL en fase primaria (BE/P, por ejemplo) a la misma clase de vegetación en fase secundaria (BE/S). Los cambios asociados a la disminución de la cubierta forestal de la vegetación, relacionada con la disminución de su cobertura y su altura arbórea, y representada por las fases de vegetación secundaria para la misma clase de vegetación	Disminución del contenido de carbono por pérdida completa del a cobertura de dosel, sin cambio de uso de suelo.

## 6. ALCANCES DEL NREF

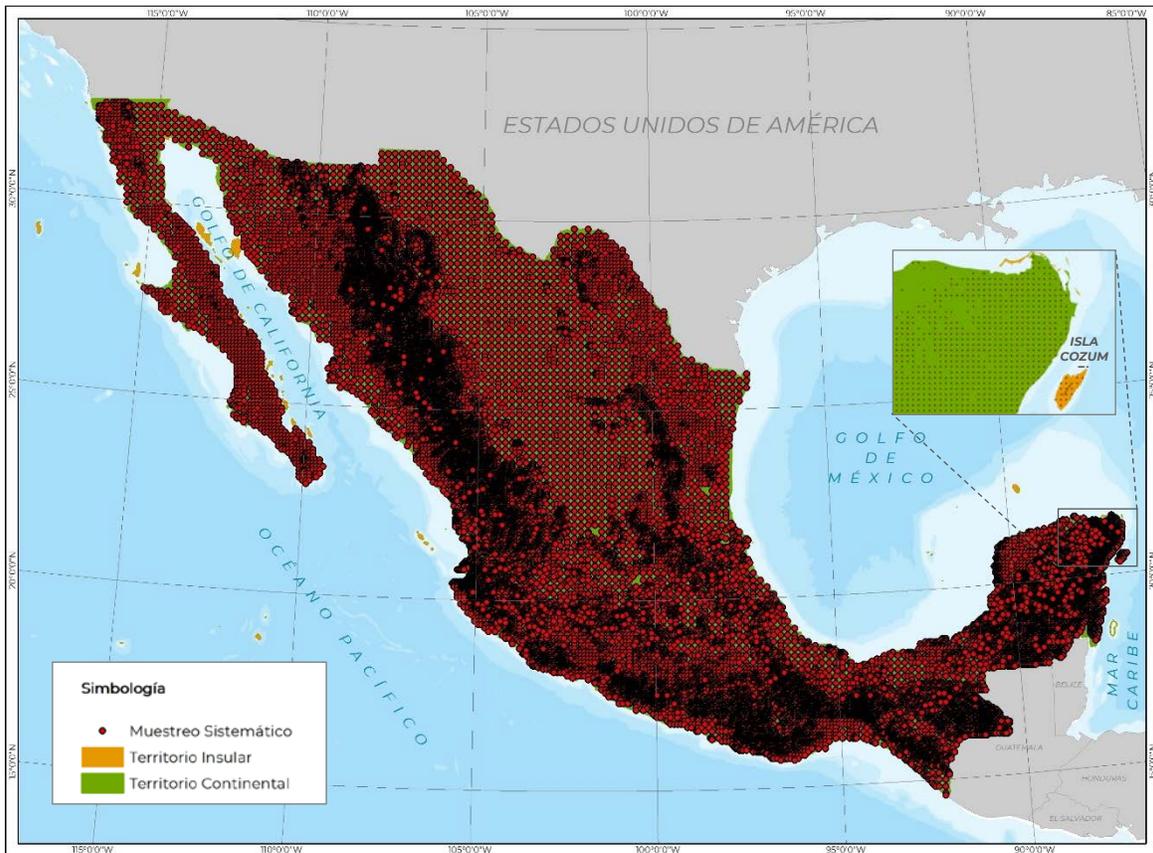
### 6.1. Escala espacial

El área de contabilidad del NREF corresponde al territorio continental de México más una parte pequeña del territorio insular del país conformada por la isla Cozumel, y asciende a 194,077,596 ha. Esta área de contabilidad fue definida en función de la superficie cubierta por el Inventario Nacional Forestal y de Suelos y la Malla de Muestreo Sistemático, que son las principales fuentes de datos para el presente NREF. El área de contabilidad excluye el resto del territorio insular de México (**Figura 12**).

El área de contabilidad es menor que la superficie continental de México (196,018,900 ha) reportada en la sección 2.1, debido a que el área de estudio del INFyS está basada en el mapa de la Serie II de USyV del INEGI, el cual excluye una superficie considerable de cuerpos de agua continentales.

La escala nacional ha sido elegida para este NREF por las mismas razones que en el NREF anterior: (i) Es de interés para el país conocer las emisiones brutas por deforestación y degradación forestal en todo el territorio nacional y establecer su relación con el monitoreo de la NDC; (ii) La política pública y las acciones de mitigación vinculadas con REDD+ están siendo implementadas a nivel nacional: la ENAREDD+ tiene un marco de actuación y de coordinación interinstitucional a nivel nacional, que involucra la participación de los tres órdenes de gobierno y de la sociedad civil, y que articula un conjunto de políticas públicas nacionales que promueven acciones de mitigación y adaptación a través de un manejo integral del territorio; y (iii) Existen suficientes insumos y capacidades institucionales para realizar la contabilidad de emisiones de GEI a nivel nacional, de acuerdo con el alcance definido en esta sección.

<sup>15</sup> Términos y Definiciones. FRA 2015



**Figura 12.** Área de contabilidad del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México

## 6.2. Periodo de referencia

El periodo histórico de referencia establecido para el NREF es 2007-2016. La elección de este periodo se basó fundamentalmente en las razones técnicas siguientes.

Si bien el periodo histórico de análisis de la dinámica de la superficie forestal del país, a través del muestreo sistemático, abarca el periodo 2000-2016, los datos de contenido de Carbono empezaron a colectarse en 2004 con la implementación del 1er Ciclo del Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Más aún, no fue sino hasta el año 2006 que se logró colectar alrededor del 85% de la muestra total de los CGL del INFyS. En 2007 se completó el 100% de la colecta de campo del 1er Ciclo del INFyS.

A diferencia del enfoque utilizado en el primer NREF ( $DA \cdot FE = \text{Emisiones}$ ), el enfoque metodológico del presente NREF utiliza los contenidos de Carbono a nivel de CGL y contabiliza las diferencias de existencias a nivel nacional considerando dichos contenidos a ese nivel de desagregación. Como el 1er Ciclo del INFyS obtuvo una muestra suficiente hasta el año 2006, en el periodo anterior (2000-2005) no es posible adjudicar directamente un contenido de Carbono a las parcelas con la categoría de Tierras Forestales y, por tanto, no es posible aplicar un enfoque de “diferencia de existencias” como se está aplicando a partir del año 2007 (restando las existencias de 2006) hasta 2016 (restando las existencias de 2015).

Esta razón técnica impone una cota inferior al periodo de referencia del NREF: el año 2007. La amplitud del periodo de referencia fue establecida en 10 años (2007-2016), dadas las siguientes razones: (i) El scorecard del Programa Piloto para Pago por Resultados REDD+ del Fondo Verde para

el Clima establece que el periodo de referencia más óptimo es de 10-15 años; (ii) Este Programa Piloto considera los pagos por resultados ex-post logrados después de la adopción del Marco de Varsovia para REDD+ en diciembre 2013 y antes del 31 de diciembre de 2018; y (iii) Se considera que dicho periodo es representativo de las tendencias más recientes de las emisiones por deforestación y degradación forestal.

El periodo de referencia 2007-2016 es coherente con recientes hitos importantes en la política pública para REDD+ en México. La ENAREDD+ fue publicada en 2017 y su marco de actuación, basado en la coordinación interinstitucional para un manejo integrado del territorio, es a nivel nacional. En este marco, a finales de 2016, la CONAFOR y la anterior Secretaría de Agricultura (SAGARPA) firmaron un Convenio de Colaboración para alinear las políticas agropecuarias y forestales y promover estrategias conjuntas para mitigar el cambio climático en las áreas forestales. Este convenio fue implementado durante 2017 y 2018, de manera acorde y con rubros adicionales al quehacer habitual de los programas de subsidio de la CONAFOR.

Adicionalmente, en el marco de la Iniciativa de Reducción de Emisiones, que es un programa piloto para implementar el enfoque de REDD+ de México a nivel subnacional (5 estados con altas tasas de deforestación en el país: Yucatán, Quintana Roo, Campeche, Chiapas y Jalisco), durante 2017 y 2018, la CONAFOR firmó acuerdo de coordinación con cada entidad federativa con la finalidad de fortalecer las actividades específicas en cada estado para atacar las causas directas y subyacentes de la deforestación y la degradación forestal. Muchas de las actividades que actualmente realizan dichos estados están basadas en el diagnóstico de la IRE y en las actividades establecidas en dichos acuerdos.

A finales de 2018 y a partir de 2019, la nueva política forestal, representada principalmente por el PRONAFOR 2019-2024, reconoce que los procesos de deforestación y degradación de los recursos forestales tienen orígenes tanto internos como externos al sector forestal, por lo que solamente a través de una perspectiva de transversalidad en las acciones y políticas públicas y con un enfoque territorial, será posible reestructurar y reducir las presiones que existen sobre los ecosistemas forestales.

México, a través de su PRONAFOR 2014-2019, está ampliando la coordinación institucional con la actual Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) para fortalecer las acciones concretas de manejo, protección y conservación de los ecosistemas forestales para mantener el capital natural y contribuir a la mitigación del cambio climático. La nueva política forestal también plantea la coordinación con la Secretaría de Bienestar, específicamente en el Programa Sembrando Vida (<https://www.gob.mx/bienestar/acciones-y-programas/programa-sembrando-vida>).

Es importante hacer énfasis en las acciones tempranas que México ha desarrollado para REDD+ durante el periodo de referencia elegido. Destaca el Proyecto de Bosques y Cambio Climático que fue implementado de 2012 a 2017 a nivel nacional, y con énfasis en los estados de la IRE. Este proyecto logró aumentar la superficie forestal con manejo sustentable vigente en el área de implementación y en el año 2017, el incremento fue superior al 36% comparado con el año base. Asimismo, el número de ejidos y comunidades beneficiadas vigentes aumentó de 1,923 a 2,622 desde el inicio del proyecto. También se desarrolló el Programa Específico de Intervención Institucional para la Atención a Pueblos Indígenas y la Transversalización de la Perspectiva de Género y se implementaron acciones para asegurar una asistencia técnica de calidad a los ejidos y comunidades.

En el marco de este proyecto se reconoció el éxito de la CONAFOR en la implementación de las salvaguardas ambientales y sociales, el cual respondió en gran medida, al diagnóstico ambiental, social y legal, el establecimiento de requisitos y buenas prácticas y al mantenimiento de esquemas permanentes de modificaciones y mejora continua en las Reglas de Operación de la CONAFOR.

La naturaleza de las acciones tempranas para REDD+ producen efectos inmediatos (como los generados por la protección de los ecosistemas bajo el Programa de PSA), pero también efectos a mediano plazo (como aquellos derivados del fortalecimiento de las capacidades de los ejidos y comunidades forestales, y como el fortalecimiento de la coordinación interinstitucional para una

mejor toma de decisiones). Por ello, los efectos de estas acciones serán producidos más allá de su periodo de implementación.

### 6.3. Actividades REDD+

De las 5 actividades REDD+ consideradas en el párrafo 70 de la Decisión 1/CP.16, el presente NREF incluye la actividad de **reducción de las emisiones debidas a la deforestación y parcialmente la actividad de reducción de las emisiones debidas a la degradación forestal**. En el NREF sólo se incluyen las emisiones de una parte importante de la degradación forestal referida como “degradación forestal absoluta” que consiste en la reducción del contenido de Carbono debida a la remoción o pérdida total de la cobertura de dosel en el bosque, pero sin que esto implique un cambio de uso del suelo. Una definición más detallada de este tipo de degradación puede encontrarse en la sección 5.3.2.

En el siguiente cuadro se detallan las actividades REDD+ incluidas en el NREF, así como la justificación de su omisión (o abordaje parcial) y los principales elementos de mejora técnica futura, como parte de un enfoque escalonado para mejorar los NR/NREF.

**Cuadro 9.** Actividades REDD+ incluidas en el NREF, justificación y elementos de mejora

Actividad REDD+	Inclusión en NREF	Contabilidad de GEI	Justificación de inclusión u omisión	Enfoque escalonado
a) La reducción de las emisiones debidas a la deforestación	Sí	Deforestación bruta	<p>Según los datos del INEGyCEI-USCUSS de la 6ª C.N., en el año 2015 las emisiones por deforestación bruta representaron el 97% de las emisiones brutas de la categoría de Tierras Forestales del sector 3B. Tierra.</p> <p>La principal meta específica de mitigación de la NDC de México en el sector USCUS es la reducción de la tasa de deforestación bruta al año 2030. Esta meta específica tiene el mayor potencial de mitigación de todas las metas correspondientes al sector USCUS (<a href="http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/257">http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/257</a>).</p>	Se explorará la factibilidad de desagregar las estimaciones de emisiones por deforestación bruta por ecorregión nivel 2 o superior.
b) La reducción de las emisiones debidas a la degradación forestal	Parcialmente	Degradación forestal absoluta	<p>Según los datos del INEGyCEI-USCUSS de la 6ª C.N., en el año 2015 las emisiones por degradación forestal representaron el 3% de las emisiones brutas de la categoría de Tierras Forestales del sector 3B. Tierra. Se identificó como un área de oportunidad, mejorar las estimaciones por degradación forestal ya que los insumos utilizados para los DA (series de INEGI) no fueron diseñados para cuantificar los procesos de degradación forestal.</p> <p>En este NREF sólo se incluyen las emisiones debidas a una parte importante de la degradación forestal: la degradación forestal asociada a una pérdida completa de la cobertura de vegetación leñosa sin que exista un cambio de uso de suelo en el bosque degradado o “degradación forestal absoluta” (ver sección 5.3.2).</p> <p>No fue posible incluir las emisiones por degradación forestal asociada a una pérdida parcial de la cobertura de vegetación leñosa, ya que el método usado para la determinación de la dinámica de la superficie forestal utiliza imágenes de mediana resolución (Landsat), sobre las cuales existen limitaciones técnicas para determinar la disminución parcial de la cobertura de vegetación leñosa.</p>	<p>El enfoque metodológico para estimar las emisiones del NREF (ver sección 7) se considera más robusto que los empleados en los reportes anteriores (INEGI y 1er NREF), ya que los datos del INFyS se usaron de manera más directa y detallada (a nivel de parcela), de manera consistente con el método “stock difference”.</p> <p>Para subsanar la limitación de la cuantificación de la reducción parcial de la cobertura leñosa en el enfoque de muestreo, en el corto plazo se utilizarán imágenes de alta resolución (a partir de 2011 para el caso de RapidEye).</p> <p>Además, el 3er ciclo del INFyS está diseñado con sitios permanentes respecto del 2º ciclo.</p>

			<p>Por otra parte, bajo el enfoque de muestreo sistemático utilizado en el presente NREF, existen limitaciones para estimar las reducciones de Carbono en cada unidad de muestreo sólo a través de los datos del INFyS, debido a que:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Los sitios del INFyS (1er y 2º Ciclo) no son estrictamente permanentes.</li> <li>b) Las etiquetas del tipo de vegetación/uso del suelo de los sitios del INFyS provienen principalmente de la cartografía de las Series de USyV del INEGI y no de la información colectada en campo.</li> <li>c) No se siguió un enfoque panelizado en la implementación del 1er ciclo del INFyS.</li> </ul>	
c) La conservación de las reservas forestales de carbono	No	No	<p>Aunque México cuenta con información espacialmente explícita sobre las áreas bajo algún esquema de conservación, el tamaño de muestra del enfoque usado en este NREF es insuficiente para determinar las variaciones de Carbono (por deforestación, reforestación, degradación forestal o por aumento en los acervos forestales de Carbono) a nivel de dichas áreas (ANPs o PSA).</p> <p>Se asume que las emisiones por deforestación y degradación forestal en las áreas bajo conservación ya están cuantificadas en las actividades a) y b).</p>	<p>Cuando se complete el 3er Ciclo del INFyS, y cuando se implemente la interpretación aumentada del muestreo sistemático con imágenes de muy alta resolución, se podrán cuantificar las variaciones de Carbono (por degradación forestal o por aumento en los acervos) debidas a las actividades c), d) y e) de manera conjunta al menos a nivel nacional.</p>
d) La gestión sostenible de los bosques	No	No	<p>Se considera que esta actividad podría ser significativa (en términos del aumento en los acervos de Carbono), ya que su potencial de mitigación ocupa el 2º lugar en la NDC-USCUSS (<a href="http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/257">http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/257</a>).</p> <p>México cuenta con información detallada y espacialmente explícita de la mayoría de los predios bajo manejo forestal sustentable en el territorio nacional.</p> <p>Sin embargo, el tamaño de muestra del enfoque usado en este NREF es insuficiente para determinar las variaciones de Carbono (por deforestación, reforestación, degradación forestal o por aumento en los acervos forestales de Carbono) a nivel de la superficie bajo manejo forestal sustentable.</p> <p>Se asume que las emisiones por degradación forestal en las áreas bajo MFS ya están cuantificadas en la actividad b).</p>	<p>México explorará emplear en un futuro la información que se colecte a través de la Red Nacional de Sitios Permanentes de Monitoreo en Paisajes Productivos Forestales (<a href="http://forestales.ujed.mx/monafor/inicio/">http://forestales.ujed.mx/monafor/inicio/</a>).</p> <p>Cuando se complete el 3er Ciclo del INFyS, y cuando se implemente la interpretación aumentada del muestreo sistemático con imágenes de muy alta resolución, se podrán cuantificar las variaciones de Carbono (por degradación forestal o por aumento en los acervos) debidas a las actividades c), d) y e) de manera conjunta al menos a nivel nacional.</p>
e) El incremento de las reservas forestales de carbono	No	No	<p>De la misma manera que en la actividad b), no fue posible incluir las absorciones asociadas a una ganancia parcial de la cobertura de vegetación leñosa, debido al uso de imágenes de mediana resolución (Landsat) y a las limitaciones del INFyS.</p> <p>Las áreas sujetas a un cambio de Tierras No Forestales a Tierras Forestales, identificadas por el método de muestreo, fueron excluidas del análisis de superficies ya que no es posible identificar la superficie que proviene de una transición de TNF-TF al inicio del periodo de análisis, lo que implica un sesgo en las estimaciones (ver sección 8).</p>	<p>Cuando se complete el 3er Ciclo del INFyS, y cuando se implemente la interpretación aumentada del muestreo sistemático con imágenes de muy alta resolución, se podrán cuantificar las variaciones de Carbono (por degradación forestal o por aumento en los acervos) debidas a las actividades c), d) y e) de manera conjunta al menos a nivel nacional.</p>

## 6.4. Reservorios de Carbono

De los 6 reservorios considerados por las directrices del IPCC (2006) para la estimación de cambios en las existencias de carbono, el NREF incluye las emisiones de 4 reservorios: biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta y carbono orgánico del suelo, para las actividades incluidas en este reporte. El **Cuadro 10** muestra la inclusión de dichos depósitos, así como una justificación de la omisión del reservorio de mantillo (hojarasca más capa de fermentación).

**Cuadro 10.** Reservorios por cada actividad REDD+ considerados en el NREF

Actividad REDD+	Contabilidad de GEI	Reservorio de Carbono	Inclusión	Tier	Justificación de omisión
a) La reducción de las emisiones debidas a la deforestación	Deforestación bruta	Biomasa Aérea	Sí	2	---
		Biomasa Subterránea	Sí	2	---
		Madera Muerta	Sí	2	---
		Mantillo (hojarasca y capa de fermentación)	No	---	Si bien los datos de mantillo fueron colectados en todos los CGL aplicables en el 2º ciclo del INFyS (2009-2014), sólo se ha analizado en laboratorio las muestras de 1,310 CGL (correspondientes a 2009 y 2014), lo que representa tan sólo el 5% de las unidades primarias de muestreo del INFyS. Por lo anterior, el tamaño de muestra resulta insuficiente para implementar el enfoque de "diferencia de existencias" que se está implementando para los otros reservorios.  Según el INEGyCEI-USCUSS de la 6ª C.N., las emisiones del reservorio de mantillo por deforestación bruta en el año 2015 equivalen al 4.67% de las emisiones totales de los 5 reservorios.
		Carbono Orgánico de Suelos	Sí	2 con factores de cambio por defecto del IPCC	---
b) La reducción de las emisiones debidas a la degradación forestal	Degradación forestal absoluta	Biomasa Aérea	Sí	2	---
		Biomasa Subterránea	Sí	2	---
		Madera Muerta	Sí	2	---
		Mantillo (hojarasca y capa de fermentación)	No	---	Si bien los datos de mantillo fueron colectados en todos los CGL aplicables en el 2º ciclo del INFyS (2009-2014), sólo se ha analizado en laboratorio las muestras de 1,310 CGL (correspondientes a 2009 y 2014), lo que representa tan sólo el 5% de las unidades primarias de muestreo del INFyS. Por lo anterior, el tamaño de muestra resulta insuficiente para implementar el enfoque de "diferencia de existencias" que se está implementando para los otros reservorios.
		Carbono Orgánico de Suelos	Sí	2 con factores de cambio por defecto del IPCC	---

#### **6.4.1. Carbono post-deforestación**

Debido a la información limitada sobre el uso posterior de la tierra después de la deforestación, se asume que la biomasa es cero inmediatamente después de la conversión del bosque. Es decir, no se consideran las absorciones de CO<sub>2</sub> posteriores a la deforestación, salvo en el caso del reservorio de Carbono Orgánico de Suelos, en el que los datos de existencias de Carbono post-deforestación toman en cuenta los factores de cambio del uso de suelo después de la conversión, así como regímenes de gestión y aportes de materia orgánica, obtenidos del IPCC (2006).

Para el caso de los otros tres reservorios considerados en el NREF (BA, BS y MM), se identifica un área de mejora técnica futura para incluir el Carbono post-deforestación. Los datos del remuestreo (2° Ciclo del INFyS) que contabilizaron las existencias de biomasa de la vegetación leñosa residual en sitios etiquetados como Tierras No Forestales que provienen de Tierras Forestales, podrían ser analizados para incluirlos en las estimaciones. También se explorarán enfoques y datos derivados de estudios locales realizados en México.

#### **6.4.2. Carbono post-degradación forestal absoluta**

Para el caso de la degradación forestal absoluta, cuando hubo datos disponibles del 2° Ciclo del INFyS sobre las existencias de biomasa de la vegetación leñosa residual, sí se contabilizó el Carbono post-degradación. Cuando no era posible asignar un dato de biomasa residual, se asumió que la biomasa es cero inmediatamente después de la degradación.

Para el caso del reservorio de Carbono Orgánico de Suelos, sí se consideró el Carbono residual post-degradación, ya que los datos de existencias de Carbono después de la perturbación sí toman en cuenta factores de cambio del uso de suelo, así como regímenes de gestión y aportes de materia orgánica, obtenidos del IPCC (2006).

### **6.5. Gases**

El dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) es el único GEI incluido en el presente NREF. Las fuentes de emisiones de otros gases no-CO<sub>2</sub> que podrían resultar significativas para México son los incendios forestales y los procesos de deforestación/degradación forestal en manglares. Según los datos del INEGyCEI-USCUSS de la 6ª C.N., en el año 2015 las emisiones de metano CH<sub>4</sub> y de óxido nítrico (N<sub>2</sub>O) derivadas de los incendios forestales ocurridos en ese año ascendieron a 229,000 ton de CO<sub>2</sub>-e, lo que equivale al 1.10% de las emisiones de CO<sub>2</sub> por deforestación y degradación forestal en ese mismo año. Naturalmente, este porcentaje puede variar considerablemente en los años atípicos de alta ocurrencia de incendios forestales.

La CONAFOR está recopilando la serie de datos histórica completa de incendios forestales a nivel nacional para poder replicar las estimaciones del INEGyCEI-USCUSS de la 6ª C.N. para los gases CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.

Respecto de las emisiones de CH<sub>4</sub> derivadas de los procesos anaeróbicos como resultado de la deforestación y degradación forestal en manglares, la CONAFOR tiene una ruta crítica a mediano plazo para implementar en los próximos inventarios-USCUSS las directrices del suplemento 2013 a las directrices IPCC 2006 para humedales, en estrecha coordinación con el INECC.

## **7. ENFOQUE METODOLÓGICO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES**

Los cambios en las existencias de carbono dentro de un estrato (por ejemplo, un uso de la tierra) se estiman sumando los cambios de todos los depósitos, como se muestra en la Ecuación 2.3 de las Directrices del IPCC (2006).

**Ecuación 2.1. Cambios en las existencias anuales de carbono para un estrato de una categoría de uso de la tierra como la suma de los cambios de todos los depósitos**

$$\Delta C_{LU_i} = \Delta C_{AB} + \Delta C_{BB} + \Delta C_{DW} + \Delta C_{LI} + \Delta C_{SO} + \Delta C_{HWP}$$

Donde:

$\Delta C_{LU_i}$  = cambios en las existencias de carbono para un estrato de una categoría de uso de la tierra

Los subíndices se refieren a los siguientes depósitos de carbono:

AB	= biomasa aérea
BB	= biomasa subterránea
DW	= madera muerta
LI	= hojarasca
SO	= suelos
PMR	= productos de madera recolectada

Esta ecuación requiere que se estimen los cambios de existencias en cada reservorio de carbono. Los cambios de existencias de carbono se pueden estimar de acuerdo con dos enfoques del IPCC (2003, 2006): (i) Pérdidas y Ganancias de Carbono y (ii) Diferencia de Existencias de Carbono.

El enfoque de “Diferencia de Existencias” es más adecuado para estimar cambios en las existencias de carbono para la mitigación de emisiones, así como para la conservación de tierras y el desarrollo de proyectos debido a las siguientes razones (Ravindranath y Ostwald, 2008):

- El enfoque de “Pérdidas y Ganancias” requiere estimaciones de tasas de crecimiento y pérdidas de carbono de los reservorios, los cuales se pueden obtener a través del enfoque de diferencia de existencias.
- Es difícil estimar pérdidas debido a la extracción, incendios y otras causas en un área de análisis.
- El enfoque de “Pérdidas y Ganancias” requiere aportaciones de la transferencia anual de biomasa a la hojarasca, madera muerta y carbono orgánico en suelos, lo cual requiere un esfuerzo adicional importante.
- En el enfoque de “Diferencia de existencias” es más sencillo contabilizar cambios en las existencias de todos los reservorios importantes, para obtener cambios por hectárea a pesar de que la frecuencia de medición de los cinco reservorios sea diferente.

El IPCC (2006) concluye que el método de pérdidas y ganancias es el método estándar a implementarse cuando la disponibilidad de datos es limitada. Se sugiere utilizar el método de “Diferencia de Existencias” por tener mayor precisión y, además, puede aplicarse en los países que cuentan con inventarios forestales periódicos.

Tomando en cuenta estos puntos y considerando que México cuenta con el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) que: (i) tiene un alcance nacional con un muestreo sistemático, (ii) inicio en 2004, (iii) cuenta con un muestreo (2004-2007) y un remuestreo (2009-2014) concluidos, (iv) está en proceso un segundo remuestreo (2015 a la fecha), (v) el muestreo y los remuestreos mantienen consistencia metodológica y, que (vi) cuenta con suficiente información para estimar las existencias de los principales reservorios; es que se decidió estimar las emisiones de carbono para este reporte empleando un enfoque lo más cercano posible al de “Diferencias de Existencias” tomando en cuenta la naturaleza y alcance de los datos disponibles en el país.

Además, esta decisión es consistente con las recomendaciones que diferentes expertos internacionales del Servicio Forestal de los Estados Unidos (USFS por sus siglas en inglés) y de la

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) han realizado durante los procesos de elaboración y revisión de los Inventarios de Gases de Efecto Invernadero para el 1er Informe Biennial de Actualización y la 6ta Comunicación Nacional. Cabe mencionar que en los pasados reportes este enfoque no se implementó debido a que las parcelas del INFyS fueron etiquetadas principalmente con las clases de los mapas de Uso de Suelo y Tipo de Vegetación del INEGI y no con la información de campo del inventario; lo cual representó una importante limitante para aplicar el método de diferencia de existencias.

De acuerdo con Ravindranath y Ostwald (2008), el método de “Diferencia de Existencias” incluye todos los procesos que causan cambios en un reservorio. Las existencias de carbono se estiman para cada reservorio en dos puntos en el tiempo ( $t_1$  y  $t_2$ ). Los cambios en las existencias de carbono, para una categoría del uso del suelo particular, se estiman de la siguiente manera (Ravindranath y Ostwald, 2008):

- Estimar la existencia de un reservorio en el  $t_1$  y repetir la medición para estimar la existencia en  $t_2$ .
- Estimar el cambio en la existencia de un reservorio específico restando a la existencia del  $t_2$  la existencia del  $t_1$ .
- Para obtener el cambio anual en la existencia dividir la diferencia de existencias entre la duración del periodo en años ( $t_2 - t_1$ ).
- Si las estimaciones son hechas a partir de parcelas de muestreo, extrapolar a unidades/ha.
- Para obtener el total de una categoría, extrapolar la estimación por hectárea al área total de la categoría de uso de suelo.

Este enfoque se representa en la Ecuación 2.5 de las Directrices del IPCC (2006):

**Ecuación 2. 2. Cambios en las existencias de carbono en un depósito dado según la diferencia anual promedio entre estimaciones entre estimaciones en dos momentos diferentes (Método de diferencia de existencias)**

$$\Delta C = \sum_{ijk} \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{(t_2 - t_1)_{ijk}}$$

Donde:

$\Delta C$  = cambios en las existencias anuales de carbono del depósito, ton C año<sup>-1</sup>

$C_{t_1}$  = reservas de carbono en el depósito en el momento  $t_1$ , en toneladas de C

$C_{t_2}$  = reservas de carbono en el depósito en el momento  $t_2$ , en toneladas de C

En la práctica, este método trató de implementarse lo más apegado al enfoque conceptual tomando en cuenta las circunstancias nacionales y los alcances de la información disponible. En particular, para aplicar el método de diferencia de existencias se tuvo que:

- Tomar como base la información del INFyS,
- Re-etiquetar manualmente las clases IPCC de las 26,220 parcelas empleando un análisis de interpretación visual de imágenes satelitales y de la información florística y dasométrica del INFyS,
- Identificar y capturar la evolución de las clases IPCC del año 2000 al 2016 para las 26,220 parcelas distribuidas sobre la malla del INFyS,
- Asumir que los datos (contenidos de carbono) del remuestreo (2009-2014) del INFyS a nivel de CGL permanecieron constantes del 2000 al 2016; toda vez que los datos del muestreo (2004-2007) fueron sitios semipermanentes y sólo contaban con información para estimar la biomasa aérea, y subterránea y parcialmente madera muerta para el subcomponente de muertos en pie,

- Suponer que la muestra en cada año fue de 26,220 parcelas y que por lo tanto se conoció el contenido de carbono a nivel de parcela CGL para cada año desde el 2000 al 2016 y
- Asumir que la etiqueta y cambio de etiqueta, obtenida en el re-etiquetado manual, aplicó a los 4 sitios del INFyS.

Con base en estas acciones y supuestos se realizó lo siguiente: (i) se generó una base de datos en la que para cada una de las 26,220 parcelas se identificó la evolución de la clase IPCC desde el año 2000 al 2016 y (ii) se desarrollaron 4 bases de datos con los contenidos de carbono en cada parcela para cada año del periodo 2000-2016, una base para cada reservorio (Biomasa Aérea, Biomasa Subterránea, Madera Muerta y Carbono Orgánico en Suelos).

Con la combinación de estas bases de datos fue posible estimar los almacenes de carbono para cada año para cada reservorio y por lo tanto estimar las emisiones bajo un enfoque mucho más cercano al método de diferencias de existencias que aquellos implementados en reportes pasados. Si bien, se recurre a ciertos supuestos, consideramos que la implementación de este enfoque permite hacer un uso mucho más adecuado de la información disponible en el país y, además permite obtener estimaciones mucho más exactas.

Considerando los datos del INFyS (bajo un muestreo sistemático), insumos disponibles y los supuestos antes mencionados, para estimar las emisiones para elaborar el presente NREF, se procedió a:

- a) estimar las superficies forestales y su dinámica,
- b) estimar de existencias de Carbono en la superficie forestal,
- c) estimar de emisiones por deforestación y degradación forestal absoluta y,
- d) obtener el NREF

En particular, en las siguientes secciones se aborda de manera general cada uno de estos procesos iniciando con una descripción ilustrativa del enfoque (dada complejidad y diferencia contundente respecto al enfoque de DA y FE), posteriormente se describe el proceso de escalamiento y, finalmente se mencionan particularidades del proceso para su implementación en la práctica. Adicionalmente, cada uno de estos procesos e insumos se describen de forma detallada en el Anexo Técnico.

Finalmente, no se omite mencionar que en virtud de que se considera estratégico seguir consolidando la implementación del enfoque de "Diferencia de Existencias", es que actualmente se están implementando varias acciones para mejorar la información del INFyS como: (i) avanzar a una detección de la degradación con imágenes satelitales de alta y muy alta resolución, (ii) el establecimiento de CGL permanentes en el tercer ciclo del INFyS respecto a los CGL del segundo ciclo, (iii) el etiquetado de los sitios con la información de campo y (iv) el levantamiento anual de los CGL bajo un enfoque pannelizado.

Adicionalmente, en el siguiente cuadro se muestran las principales diferencias metodológicas y de insumos entre el primer NREF y el presente reporte.

**Cuadro 11.** Consideraciones

Característica principal	Primer NREF	Actual NREF
<b>Cifra del NREF</b>	44,388,620 ton CO <sub>2</sub> -eq/año	20,339,240 ton CO <sub>2</sub> -eq/año
<b>Tipo y periodo de referencia del NREF</b>	Promedio histórico 2000-2010	Promedio histórico 2007-2016
<b>Escala espacial</b>	Nacional	Nacional
<b>Enfoque metodológico</b>	DAxFE=Emisiones	Diferencia de existencias
<b>Insumos principales</b>	Series de INEGI INFyS (1 ciclo)	INFyS (2 ciclos completos) Malla Sistemática de Referencia
<b>Actividades REDD+ incluidas</b>	(a) Reducción de emisiones por deforestación (contabilidad de GEI: deforestación bruta)	(a) Reducción de emisiones por deforestación (contabilidad de GEI: deforestación bruta)  Parcialmente (b) Reducción de emisiones por degradación forestal (contabilidad de GEI: degradación forestal absoluta)
<b>Reservorios incluidos</b>	Biomasa aérea y biomasa subterránea	Biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta y carbono orgánico de suelos
<b>Gases incluidos</b>	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )
<b>Definición de bosque</b>	Tierras forestales con una cobertura de dosel superior al 10%, con especies leñosas de más de 4 metros de altura, o capaces de alcanzar dicha condición in situ, y con una extensión mínima de 50 ha.	Tierras forestales con una cobertura de dosel superior al 10%, con especies leñosas de más de 4 metros de altura, o capaces de alcanzar dicha condición in situ, y con una extensión mínima de 1 ha.
<b>Análisis de incertidumbres</b>	Parcial. No se incluyó la incertidumbre asociada a DA	Completo, basado en el enfoque de muestreo

## 8. SUPERFICIES DE TIERRAS FORESTALES Y SU DINÁMICA

### 8.1. Área de contabilidad

El área de contabilidad del NREF tiene una escala nacional, está conformada por el territorio continental de México más la isla Cozumel, y asciende a 194,077,596 ha (ver sección 6.1). Esta área fue definida en función de la superficie cubierta por el diseño del INFyS y de la Malla de Muestreo Sistemático. Ambos instrumentos, están basados en una estratificación que establece tres distanciamientos entre unidades de muestreo, según los grandes grupos principales de vegetación bajo estudio: 5x5 km para bosques y selvas, 10x10km para comunidades semiáridas y 20x20km para comunidades áridas (ver Anexo Metodológico para más detalle).

Con la finalidad de construir estratos aún más homogéneos que los considerados por el INFyS, el área de contabilidad del NREF se sub-estratificó considerando las 7 ecorregiones terrestres de México. Las ecorregiones son unidades geográficas con flora, fauna y ecosistemas característicos. Son una división de las grandes “ecozonas” o regiones biogeográficas. Las divisiones políticas de municipios, estados y países no respetan los procesos ecológicos, por lo que es importante el desarrollo de políticas públicas que incluyan escalas espaciales adecuadas y que consideren la dinámica ambiental (CONABIO, 2008).

Como el primer paso de un enfoque escalonado, la sub-estratificación del área de contabilidad de este NREF se realizó considerando las 7 ecorregiones terrestres a nivel I (**Figura 13**):

- California Mediterránea
- Desiertos de América del Norte
- Elevaciones Semiáridas Meridionales
- Grandes Planicies
- Selvas Cálido-Húmedas
- Selvas Cálido-Secas
- Sierras Templadas



**Figura 13.** Ecorregiones terrestres de México (nivel I)

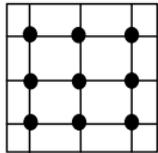
Una sub-estratificación de esta naturaleza permite gestionar la variabilidad de la dinámica de la superficie forestal y de las emisiones de GEI asociadas, en un país megadiverso. En la siguiente sección se describe el proceso de estimación de las superficies de Tierras Forestales por cada ecorregión y para cada intensificación (distanciamiento) de muestreo.

## 8.2. Enfoque metodológico de estimación

Como se mencionó en la sección anterior, para estimar las emisiones del presente NREF se implementó un enfoque de “Diferencias de Existencias” basado principalmente en los datos de carbono del INFyS y en las clases IPCC (identificadas con imágenes satelitales y datos del INFyS) de las parcelas distribuidas sobre la malla del inventario para la serie temporal 2000-2016. De esta manera, se cuenta con una base denominada “Base de Datos Multitemporal” en la que para las 26,220 parcelas (distribuidas de manera sistemática a lo largo del país) se tiene etiquetada la clase IPCC para cada año del periodo 2000-2016; por lo que para cada parcela se tiene identificada la evolución de las clases IPCC en el periodo de análisis.

Con este insumo es posible hacer un monitoreo del estado de los usos de la tierra para cada año y su dinámica interanual; toda vez que mediante el enfoque de muestreo puede estimarse las superficies y los cambios en ellas (IPCC, 2006). Para implementar el enfoque de “Diferencia de Existencias” no es necesario estimar las superficies de tierras forestales ni sus cambios; sin embargo, es de interés del país generar estas estimaciones con fines de apoyar el diseño y focalización de políticas públicas en el sector; además, la estimación de tierras forestales y sus cambios también ha sido utilizada como parte de este reporte para contextualizar y caracterizar al sector forestal de México.

Por lo tanto, para estimar las áreas de los usos de la tierra empleando las parcelas de muestreo del INFyS se procedió a obtenerlas por medio de proporciones. De acuerdo con el IPCC (2006), para aplicar este enfoque primero se debe conocer la superficie total de una región del inventario. Partiendo de esta información, es posible estimar las superficies de las diferentes categorías de uso de la tierra basándose en las evaluaciones de las proporciones de superficie. Cuando se aplica este método, se cubre la superficie del inventario por un determinado número de puntos de muestra y se determina el uso de la tierra para cada punto. Entonces, se calcula la proporción de cada categoría de uso de la tierra dividiendo la cantidad de puntos localizados en la categoría específica por el número total de puntos. Las estimaciones de superficie para cada categoría de uso de la tierra se obtienen multiplicando la proporción de cada categoría por la superficie total. El cuadro 3A.3.1 de las Directrices del IPCC (2006) (**Figura 14**) proporciona un ejemplo de este procedimiento:

CUADRO 3A.3.1 EJEMPLO DE LA ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES POR MEDIO DE PROPORCIONES			
Procedimiento de muestreo	Estimación de proporciones	Superficies estimadas de categorías de uso de la tierra	Error estándar
	$p_i = n_i / n$	$A_i = p_i \cdot A$	$s(A_i)$
	$p_1 = 3/9 \cong 0,333$	$A_1 = 300 \text{ ha}$	$s(A_1) = 150,0 \text{ ha}$
	$p_2 = 2/9 \cong 0,222$	$A_2 = 200 \text{ ha}$	$s(A_2) = 132,2 \text{ ha}$
	$p_3 = 4/9 \cong 0,444$	$A_3 = 400 \text{ ha}$	$s(A_3) = 158,1 \text{ ha}$
	Suma = 1,0	Total = 900 ha	

Donde:

A = superficie total (= 900 ha en el ejemplo)

$A_i$  = superficie estimada de la categoría de uso de la tierra i

$n_i$  = cantidad de puntos ubicados en la categoría de uso de la tierra i

n = cantidad total de puntos

**Figura 14.** Estimación de superficies por medio de proporciones

La base de datos con las etiquetas de las clases IPCC para cada una de las 26,220 parcelas de un año particular (de periodo 2000-2001) fue el insumo base para estimar las áreas de uso de suelo para un año determinado. Esta base de datos fue elaborada sobre el diseño muestral del INFyS (malla sistemática distribuida sobre el país a equidistancias de 5x5, 10x10 y 20x20 km dependiendo del tipo de vegetación) y se consideró la coordenada central de CGL del INFyS como punto central de las parcelas analizadas. Cada parcela de esta base tuvo una superficie de 1 ha (100x100 m).

En cada una de las 26,220 parcelas se identificó para el 2016, la clase de Uso de Suelo y Tipo de Vegetación definidas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2014), denominada “Clase INEGI”, empleando imágenes de alta y muy alta resolución (Bing Maps, Yandex Mapas, Google Earth Engine Code Editor y Google Earth Engine Explorer) e información florística y dasométrica del INFyS. Además, con la clase INEGI identificada en 2016 y un análisis multitemporal de imágenes de mediana (Landsat), alta y muy alta resolución se identificó la clase INEGI en el año 2000. Como parte del análisis multitemporal se identificó también el año de cambio en aquellas parcelas cuya clase

INEGI cambió entre el año 2000 y el año 2016, el año de cambio se determinó en los casos cuando la cobertura de la imagen satelital (para una clase INEGI dada) cambió en más del 50% a otra clase INEGI.

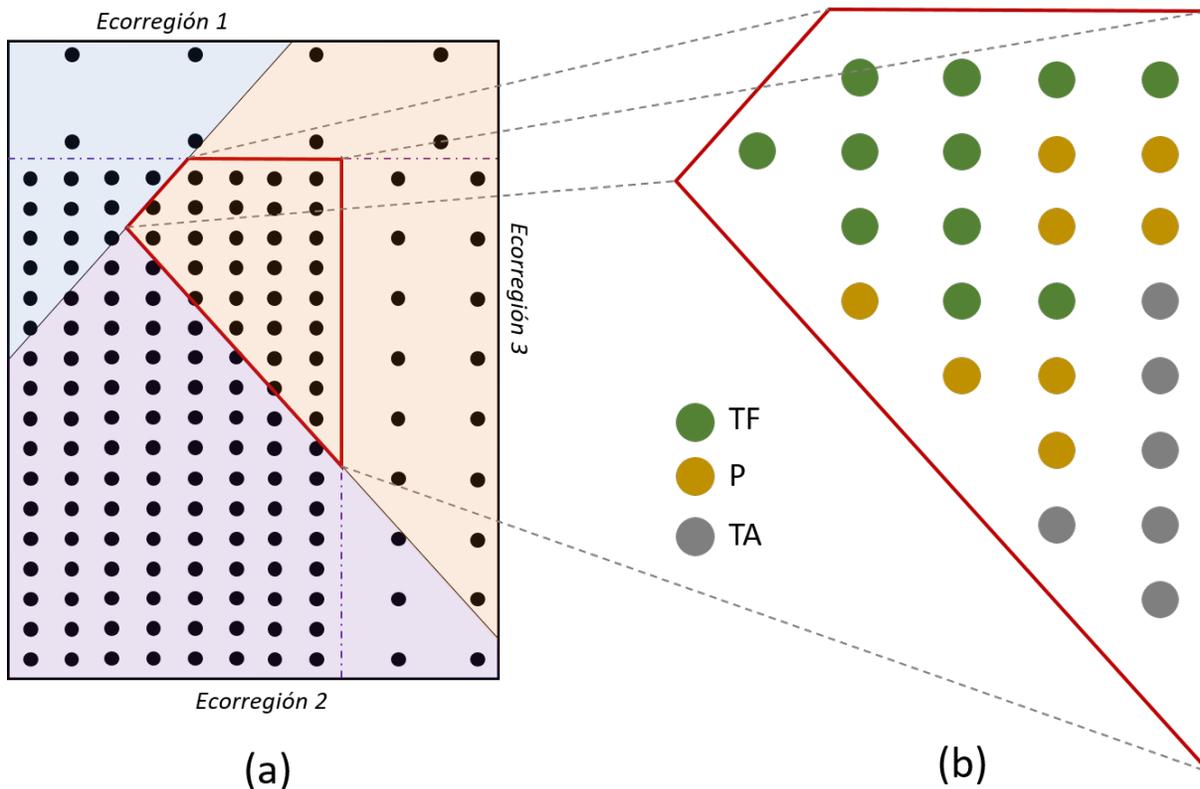
Cabe mencionar que la clase INEGI en cada una de las parcelas se identificó: (i) caracterizando las coberturas y usos del suelo con base en un análisis de fotointerpretación de imágenes satelitales y de la información del INFyS, (ii) en función de la definición de bosque –cobertura de dosel mayor al 10% - y, (iii) aplicando los criterios de la Guía para la interpretación de cartografía Uso del Suelo y Vegetación Escala 1:250, 000 Serie V (INEGI, 2014) para definir la clase específica.

Para aquellas parcelas que cambiaron de clase durante el periodo analizado, se les identificó la clase INEGI 2000 y 2016, así como los años de cambio y se registraron en un formulario diseñado en la herramienta Collect Earth (<http://www.openforis.org/tools/collect-earth.html>). Con esta misma información se infirieron las clases INEGI para cada año de la serie temporal 2000-2016 en las 26,220 parcelas. Mediante este proceso y para el periodo analizado fue posible identificar parcelas que permanecieron en el mismo uso de suelo, parcelas que cambiaron de uso del suelo (deforestación), parcelas que perdieron cobertura forestal debido a perturbaciones (degradación) y parcelas que se recuperaron provenientes de otros usos a tierras forestales o bien parcelas con cobertura forestal que la perdieron y recuperaron nuevamente. Es necesario mencionar que, con la intención de reportar las emisiones asociadas a la deforestación bruta, todas las recuperaciones fueron tratadas como permanencias de otros usos. Además, este supuesto resulta adecuado implementarlo toda vez que: (i) técnicamente es complejo identificar correctamente el año específico de recuperación y a que (ii) el tiempo promedio de recuperación oscila entre 10 a 15 años; por lo que del 2000 al 2010 no es posible identificar las recuperaciones que iniciaron entre 1985 y 1990.

La base de datos multitemporal con las clases INEGI a nivel de parcela fue traducida a las clases IPCC de acuerdo con una tabla de correspondencia en la que las clases de tierra forestal fueron definidas de acuerdo con lo mostrado en el **Cuadro 5**.

La base de datos multitemporal con las clases IPCC a nivel de parcela, permitió conocer la clase IPCC de las 26,220 parcelas cada año desde el 2000 hasta 2018. Con esta información se procedió a estimar las superficies de las clases IPCC para cada año, este proceso se realizó a nivel de las Ecorregiones Nivel 1 subdivididas en tres estratos en función de la equidistancia del muestreo (5x5, 10x10 y 20x20 km). Este proceso se ejemplifica gráficamente a continuación:

- I. Supongamos que el país está dividido en tres Ecorregiones y tres intensidades de muestreo (5x5, 10x10 y 20x20 km) como se muestra en la **Figura 15-a**.
- II. Supongamos que el área de la Ecorregión 3 con intensidad de muestreo de 5x5 km (ver polígono de contorno rojo de la **Figura 15-a**) tiene un área de 1000 ha.
- III. Supongamos ahora que nos interesa estimar el área de las clases IPCC en el polígono definido en el punto anterior I (ver polígono de contorno rojo de la **Figura 15-a**).
- IV. Supongamos que conocemos la clase IPCC de cada una de las parcelas del polígono definido en el punto II (**Figura 15**).



**Figura 15.** (a) Diagrama con las áreas hipotéticas de un país dividido en tres Ecorregiones y con tres intensidades de muestreo, (b) Diagrama con la representación de un área hipotética de una Ecorregión-Intensidad de muestreo con 25 parcelas con las clases IPCC identificadas.

- V. Con base en lo mostrado en la **Figura 15-b**, sabemos que el número total de parcelas en el polígono de interés es de 25 (N) y que, de estas, 11 pertenecen a la clase de Tierra Forestal (TF), 8 a la clase de Pradera (P) y 6 a la clase de Tierra Agrícola (TA).
- VI. Con base en la numeraria de punto anterior (V) y a la superficie de la Ecorregión 3 con intensidad de 5x5km que supuso de 1000 ha, se estima las áreas de las clases IPCC en el polígono de interés de acuerdo con lo siguiente:

$$\text{Área de TF} = \frac{11}{25} \times 1000 = 440 \text{ ha}$$

$$\text{Área de P} = \frac{8}{25} \times 1000 = 320 \text{ ha}$$

$$\text{Área de TA} = \frac{6}{25} \times 1000 = 240 \text{ ha}$$

- VII. Para conocer las áreas de las clases IPCC en todo el país; para cada Ecorregión e intensidad de muestreo se debe proceder de manera análoga a lo mostrado previamente y una vez obtenidas las áreas de clases IPCC a este nivel, se deberán sumar para obtener las estimaciones a nivel nacional.

En la práctica, para estimar a nivel nacional las áreas IPCC en cada año (dentro del periodo 2000-2016), se tomó como referencia el área continental del país y de la isla de Cozumel y esta área se dividió en 21 estratos definidos por las Ecorregiones Nivel 1 y la intensidad de muestreo del INFyS (5x5, 10x10 y 20x20). Empleando la información de la "Base de datos multitemporal con las clases IPCC a nivel de parcela", para cada uno de estos 21 estratos se estimó el área de las clases IPCC siguiendo el enfoque

de proporciones. Una vez obtenidas las áreas de las clases IPCC a nivel de los 21 estratos, se procedió a sumarlas para obtener las estimaciones a nivel nacional.

El proceso de construcción de la “Base de Datos Multitemporal” con las clases IPCC a nivel de parcela y la estimación de las áreas de las clases IPCC, se describe detalladamente las secciones I y III del Anexo Metodológico.

### **8.3. Resultados de la dinámica de la superficie de Tierras Forestales de México**

El **Cuadro 12** muestra la dinámica de la superficie del área de contabilidad del NREF de México, desglosada por cada una de las 7 ecorregiones y de las 6 categorías IPCC, incluyendo las Tierras Forestales, para el periodo 2000-2016. La superficie de Tierras Forestales de México ha disminuido desde 101,296,640 ha en el año 2000, hasta 97,823,584 ha en el año 2016. Lo anterior implica una pérdida de 3,473,056 ha en 16 años.

Otro resultado relevante es la coincidencia en el orden de magnitud de la superficie de Tierras Forestales en el año 2014 (98,469,001 ha) y de la cifra de permanencias de Tierras Forestales entre 2011-2014 reportada en el INEGyCEI-USCUSS de la 6ª CN (97,435,222 ha). Esta coincidencia adquiere mayor relevancia si se toma en cuenta que ambos datos provienen de metodologías diferentes, pero que han empleado el mismo concepto de bosque.

Las incertidumbres asociadas a las superficies de las 6 categorías IPCC se muestran en el **Cuadro 13**. Las incertidumbres más bajas corresponden a las superficies de Tierras Forestales, fluctuando entre 2% y 8%, dependiendo del sub-estrato (ecorregión x distanciamiento) y del año analizado.

La tendencia decreciente de las Tierras Forestales (**Figura 16** y **Figura 17**) contrasta con el incremento de Praderas para el mismo periodo. En la figura 15 se observa que las Tierras Agrícolas también están incrementando su superficie, aunque en menor magnitud. Este comportamiento indica que el incremento de Praderas y Tierras Agrícolas está correlacionado con la pérdida de Tierras Forestales, lo que es consistente con los resultados del INEGyCEI-USCUSS de la 6ª CN.

Otro resultado importante es que la magnitud de superficie de cambio de las Tierras Forestales es mayor en los últimos años analizados. Los datos muestran que para la segunda parte del periodo (2009 – 2016) se ha perdido alrededor del doble de la superficie que en la primera parte del periodo analizado (2001 – 2008).



Ecorregión	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
SCH-OT	182,848	182,848	182,848	182,848	182,848	182,848	185,541	185,541	185,541	185,541	185,541	185,541	185,541	188,235	188,235	188,235	214,420
SCH-P	8,240,161	8,281,579	8,334,700	8,374,352	8,442,706	8,451,539	8,491,943	8,519,630	8,602,380	8,637,972	8,698,996	8,736,706	8,680,453	8,708,140	8,693,305	8,756,095	8,842,376
SCH-TA	1,771,507	1,771,507	1,800,385	1,805,773	1,811,160	1,842,732	1,853,506	1,895,852	1,909,320	1,975,157	2,014,810	2,025,584	2,172,668	2,230,425	2,330,527	2,367,486	2,433,323
SCH-TF	16,055,464	16,014,046	15,932,047	15,881,620	15,807,879	15,767,475	15,713,603	15,643,570	15,544,658	15,414,351	15,287,490	15,239,005	15,145,480	15,051,956	14,940,504	14,840,755	14,662,453
SCS-AH	473,328	473,328	473,328	473,328	473,328	473,328	473,328	473,328	473,328	473,328	473,328	473,328	547,480	547,480	547,480	557,386	594,462
SCS-H	506,232	506,232	506,232	506,232	509,100	509,100	509,100	509,100	509,100	509,100	509,100	509,100	509,100	509,100	509,100	509,100	509,100
SCS-OT	199,397	199,397	199,397	199,397	206,435	206,435	206,435	206,435	206,435	206,435	206,435	206,435	206,435	206,435	206,435	206,435	206,435
SCS-P	5,054,288	5,067,061	5,132,550	5,219,155	5,234,796	5,260,342	5,273,115	5,285,888	5,344,338	5,307,262	5,345,581	5,402,408	5,348,067	5,409,385	5,479,046	5,591,517	5,552,816
SCS-TA	4,311,580	4,311,580	4,311,580	4,311,580	4,311,580	4,321,486	4,321,486	4,321,486	4,331,392	4,391,147	4,420,864	4,457,940	4,500,751	4,523,429	4,563,373	4,526,297	4,637,525
SCS-TF	21,222,324	21,209,551	21,144,062	21,057,457	21,031,911	20,996,459	20,983,686	20,970,913	20,902,556	20,879,878	20,811,841	20,717,939	20,655,317	20,571,320	20,461,716	20,376,415	20,266,811
SieTem-AH	635,978	635,978	635,978	635,978	635,978	635,978	638,574	638,574	641,170	671,964	671,964	671,964	674,560	674,560	674,560	674,560	674,560
SieTem-H	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596
SieTem-OT	60,996	60,996	60,996	60,996	60,996	63,592	63,592	63,592	63,592	63,592	63,592	63,592	66,188	74,621	74,621	74,621	74,621
SieTem-P	5,298,308	5,313,883	5,332,055	5,339,842	5,322,028	5,356,420	5,372,641	5,388,216	5,401,195	5,434,942	5,445,325	5,498,534	5,534,876	5,527,446	5,580,009	5,603,371	5,621,543
SieTem-TA	3,464,933	3,464,933	3,467,529	3,470,125	3,498,323	3,519,735	3,524,927	3,530,119	3,535,310	3,514,900	3,522,688	3,525,284	3,584,275	3,615,069	3,622,856	3,633,240	3,654,007
SieTem-TF	33,698,587	33,683,012	33,662,245	33,651,861	33,641,478	33,583,078	33,559,069	33,538,302	33,517,535	33,473,405	33,455,234	33,399,430	33,298,905	33,267,109	33,206,758	33,173,011	33,134,073
<b>Total TF</b>	<b>101,296,640</b>	<b>101,226,873</b>	<b>101,048,402</b>	<b>100,865,354</b>	<b>100,755,684</b>	<b>100,590,650</b>	<b>100,486,236</b>	<b>100,351,818</b>	<b>100,153,566</b>	<b>99,880,652</b>	<b>99,644,260</b>	<b>99,364,522</b>	<b>99,048,693</b>	<b>98,803,744</b>	<b>98,469,001</b>	<b>98,173,882</b>	<b>97,823,584</b>
<b>Sup Total</b>	<b>194,077,596</b>																

NOTA: La base de datos total que contiene el desglose por equidistancia de muestreo (ResumenSuperficie\_anual\_00\_16\_Ecorregion.xls) se encuentra disponible en el siguiente enlace: <http://mrv.cnf.gob.mx/FREL/EstimacionSuperficies/>

CalMed - California Mediterránea  
DesAN - Desiertos de América del Norte  
ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales  
AH- Asentamiento Humano  
H- Humedales

GraPla - Grandes Planicies  
SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
OT- Otras Tierras  
P- Praderas

SCS - Selvas Cálido-Secas  
SieTem - Sierras Templadas  
TA- Tierras Agrícolas  
TF- Tierras Forestales



**. Cuadro 13. (Continuación) Incertidumbre de la superficie anual por ecorregión y categoría IPCC en el periodo 2000 – 2016**

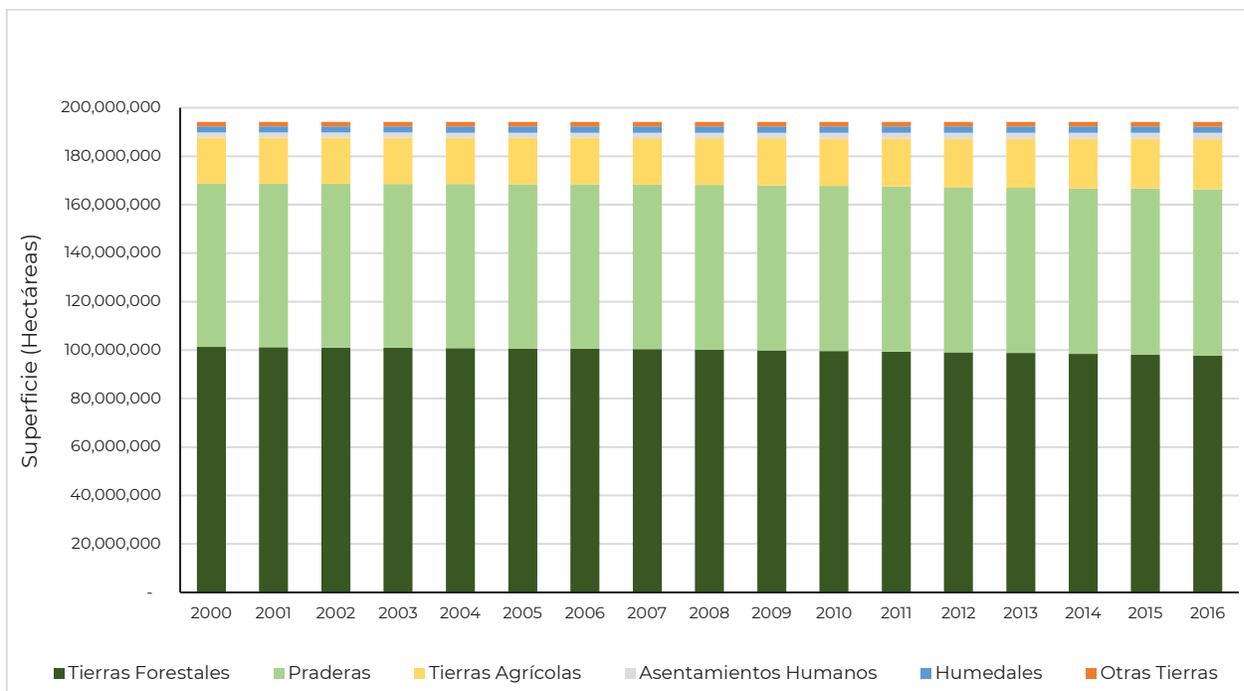
Ecorregión	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
SCH-OT	65	65	65	65	65	65	64	64	64	64	64	64	64	63	63	63	60
SCH-P	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6
SCH-TA	20	20	20	19	19	19	19	19	19	18	18	18	17	17	17	17	16
SCH-TF	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SCS-AH	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	49	49	49	48	47
SCS-H	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
SCS-OT	75	75	75	75	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
SCS-P	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
SCS-TA	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
SCS-TF	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SieTem-AH	38	38	38	38	38	38	38	38	38	37	37	37	37	37	37	37	37
SieTem-H	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196
SieTem-OT	51	51	51	51	51	50	50	50	50	50	50	50	49	48	48	48	48
SieTem-P	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
SieTem-TA	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
SieTem-TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

NOTA: La base de datos total que contiene el desglose por equidistancia de muestreo (ResumenSuperficie\_anual\_00\_16\_Ecorregion.xls) se encuentra disponible en el siguiente enlace: <http://mrv.cnf.gob.mx/FREL/EstimacionSuperficies/>

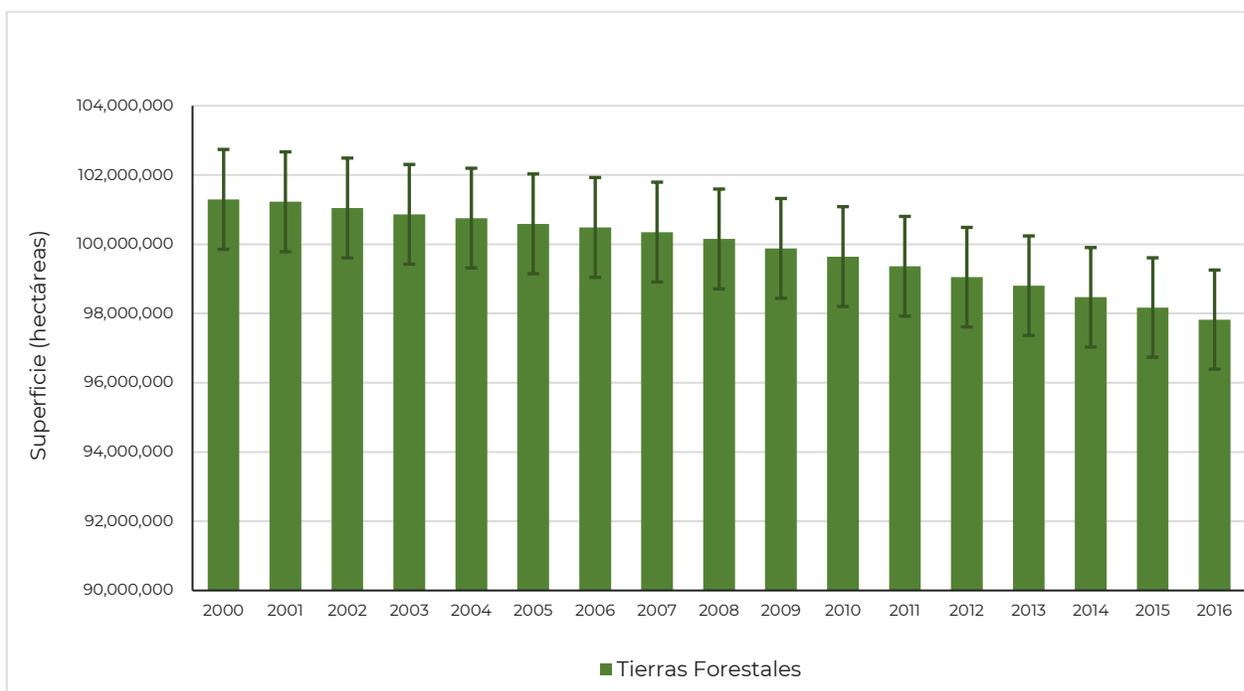
CalMed - California Mediterránea  
 DesAN - Desiertos de América del Norte  
 ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales  
 AH- Asentamiento Humano  
 H- Humedales

GraPla - Grandes Planicies  
 SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
 OT- Otras Tierras  
 P- Praderas

SCS - Selvas Cálido-Secas  
 SieTem – Sierras Templadas  
 TA- Tierras Agrícolas  
 TF- Tierras Forestales



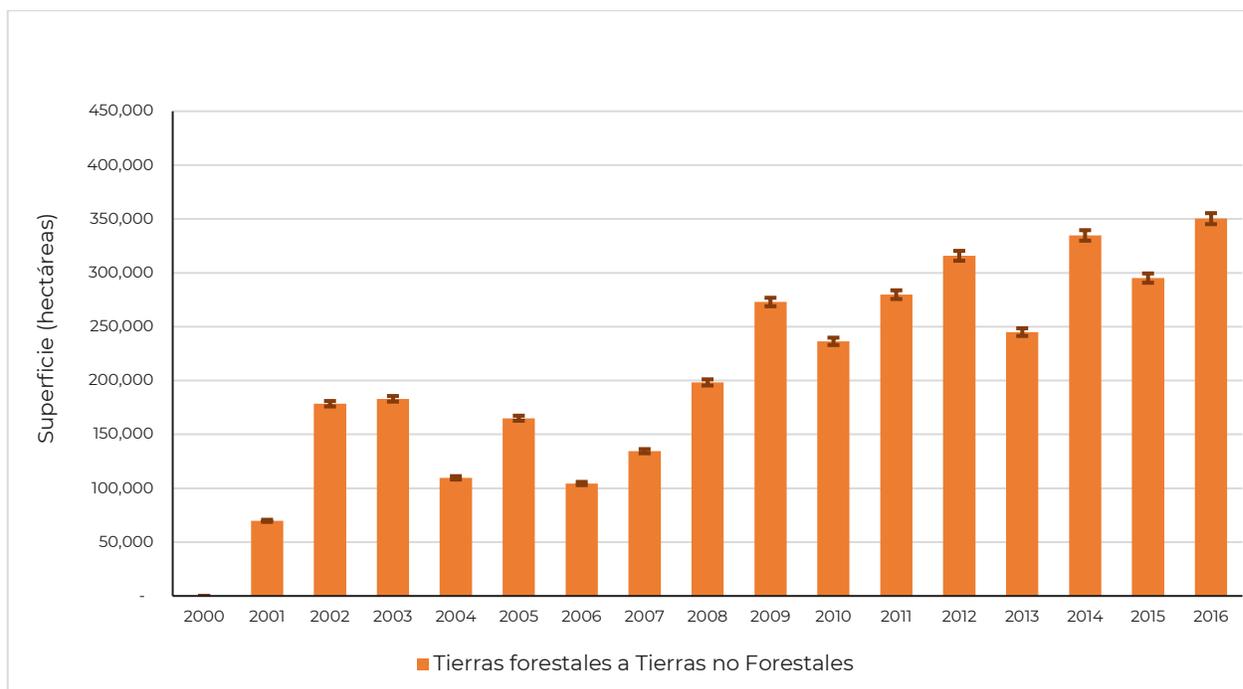
**Figura 16.** Superficie anual en el periodo 2000 – 2016.



**Figura 17.** Superficie anual de Permanencia de Tierras Forestales en el periodo 2000 - 2016

Las siguientes gráficas muestran el comportamiento de las superficies de deforestación bruta y de degradación forestal absoluta de 2000 a 2016. Se hace énfasis en que estas gráficas se presentan como resultados intermedios del proceso de estimación del NREF, pero estas superficies no fueron utilizadas para el cálculo de las emisiones de GEI.

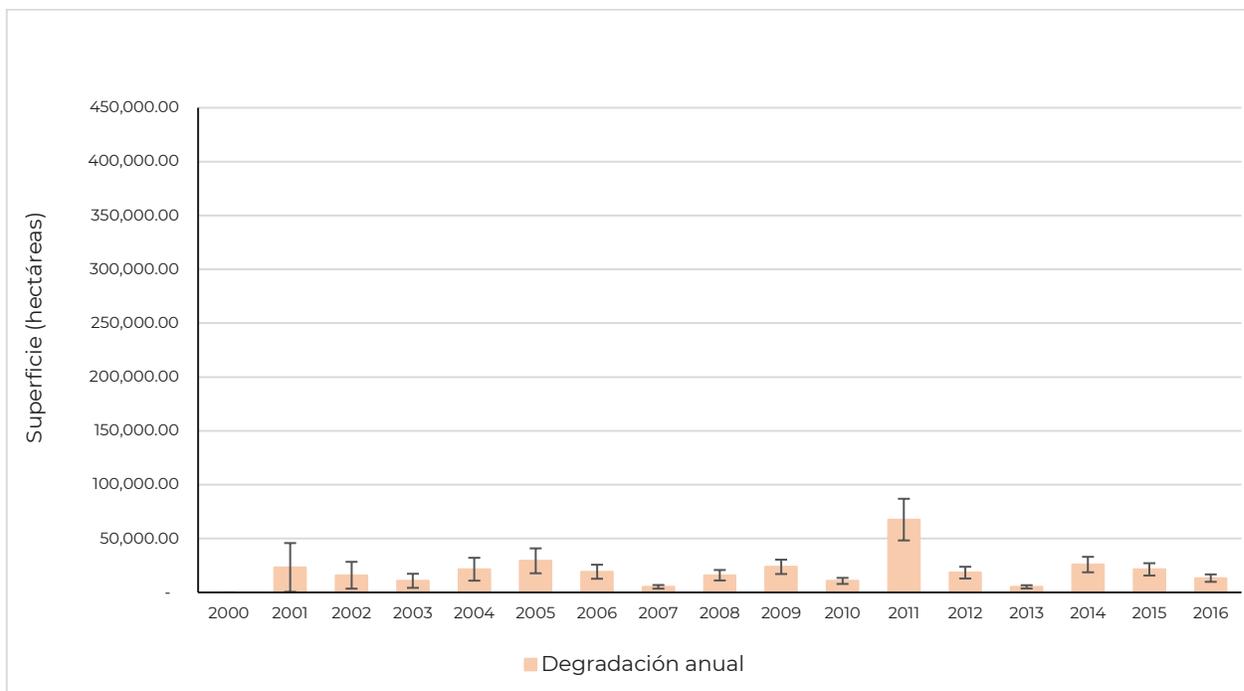
La deforestación bruta muestra una tendencia creciente durante el periodo de análisis: el valor máximo (350,298 ha) ocurrió en 2016, seguido de los valores de 2014 y 2012 (**Figura 18**). Este comportamiento es consistente con la tendencia de la deforestación bruta estimada en el INEGyCEI-USCUSS 1990-2015 de la 6ª CN.



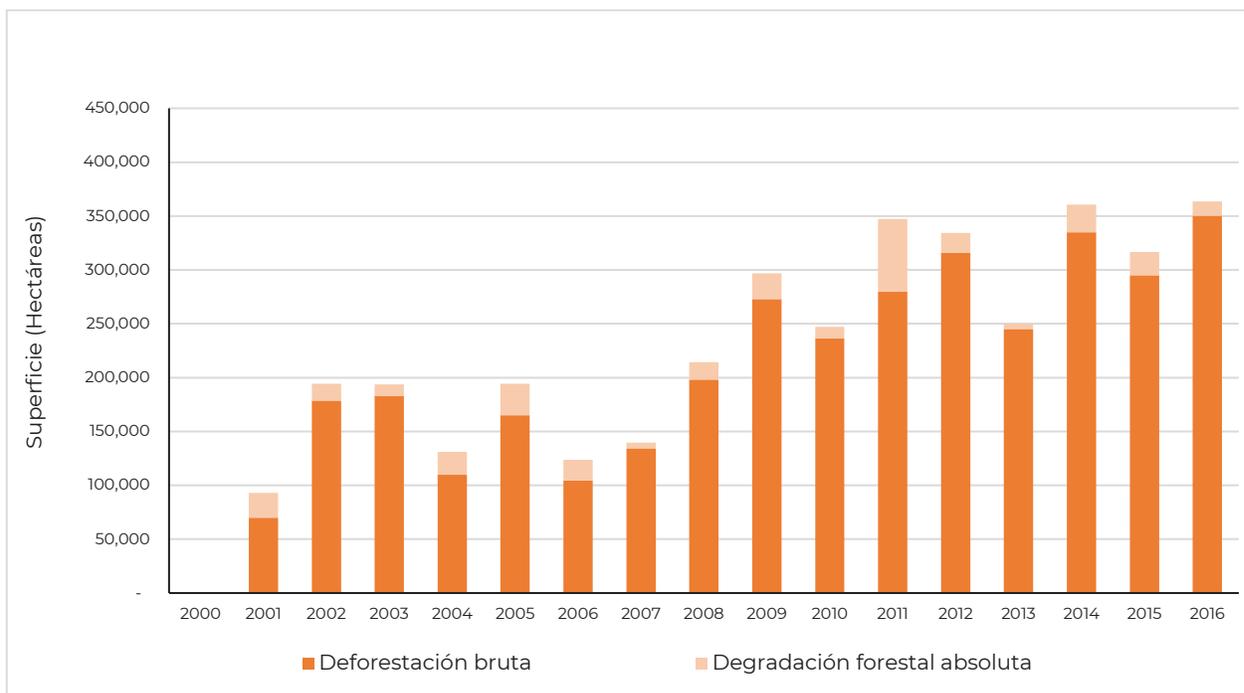
**Figura 18.** Superficie anual de deforestación bruta en el periodo 2000 - 2016

La superficie anual de degradación forestal absoluta no muestra una tendencia clara durante el periodo de análisis (**Figura 19**). El valor máximo (67,602.71 ha) ocurrió en el año 2011, lo que coincide con el año con mayor superficie de incendios forestales en las últimas tres décadas en el país. Los valores de la degradación forestal absoluta son menores que los reportados para degradación forestal en la 6ª CN, lo que puede explicarse por el hecho de que el tipo de degradación considerada en este NREF es un subconjunto propio de la degradación forestal (ver **Figura 10**).

En la **Figura 20** se muestran las superficies anuales de deforestación bruta y de degradación forestal absoluta de manera conjunta. Dado que la mayor aportación corresponde a la deforestación bruta, la tendencia de la gráfica es la misma que la de esta actividad. El valor máximo (363,572 ha) corresponde al año 2016, seguido de los valores para 2014 (360,599 ha) y 2011 (347,340 ha).



**Figura 19.** Superficie anual de degradación forestal absoluta en el periodo 2000 - 2016



**Figura 20.** Superficie anual de deforestación bruta y degradación forestal absoluta en el periodo 2000 - 2016

## 9. EXISTENCIAS DE CARBONO EN LAS TIERRAS FORESTALES DE MÉXICO

### 9.1. Enfoque metodológico de estimación

Como se mencionó en la sección 7, las emisiones reportadas en el presente NREF se obtuvieron con base en el enfoque de “Diferencia de Existencias”, el cual, como se describe en la Ecuación 2.5 de las Directrices del IPCC (2006), requiere de la estimación de las existencias de carbono de cada uno de los reservorios en cada año del periodo de análisis (2000-2018).

La decisión de estimar las emisiones reportadas en el presente NREF bajo este enfoque (con base en la diferencia de las existencias anuales de carbono de cada reservorio), se basa en que México cuenta con los datos del INFyS para los principales reservorios de carbono, el cual tiene un diseño de muestreo aleatorio sistemático que cubre la totalidad de país y en el que conocemos las clases IPCC de cada parcela para cada año.

Se consideró que para el presente reporte se obtuvieron estimaciones robustas de las existencias anuales de carbono en virtud de lo anterior y a que, además, el IPCC (2006) señala las siguientes ventajas de obtener estimaciones de emisiones y absorciones de los usos de la tierra cuando se cuentan con inventarios forestales basados en muestreo y en particular cuando se emplean un diseño de muestreo aleatorio sistemático:

- Los datos del uso de la tierra se obtienen a menudo mediante sondeos de muestras, y se los suele utilizar para estimar los cambios en el uso de la tierra o en las existencias de carbono.
- El muestreo deduce información acerca de una población entera observando una fracción de ésta: la muestra.
- En general, es más eficaz utilizar el muestreo sistemático, debido a que, en la mayoría de los casos, aumenta la precisión de las estimaciones.
- La razón por la que el muestreo aleatorio sistemático generalmente es superior al muestreo aleatorio simple es que las parcelas se distribuyen uniformemente por todas partes en la superficie meta.

Para obtener las existencias anuales de carbono para los reservorios de Biomasa Aérea (BA), Biomasa Subterránea (BS), de la Madera Muerta (MM) y del Carbono Orgánico en Suelos (COS), se utilizaron principalmente tres insumos que fueron: (i) la “Base de datos multitemporal con las clases IPCC a nivel de parcela”, (ii) la base de datos de carbono del INFyS para la BA, BS y MM y, (iii) los datos del mapa de COS (2019) de la Universidad de Delaware. Cabe mencionar que en este reporte no se incluyeron estimaciones de Mantillo debido a que para este reservorio sólo se cuenta con información analizada en laboratorio para 1,310 CGL del INFyS, lo que representa sólo el 5% de la muestra del INFyS; por lo que no fue posible utilizar esta información para implementar el enfoque de diferencia de existencias para estimar las emisiones de carbono del Mantillo.

Cómo se mencionó en la sección 8, en la “Base de datos multitemporal con las clases IPCC a nivel de parcela” se tienen identificadas para cada año las clases IPCC de 26,220 parcelas, las cuales están localizadas sobre todas los CGL del INFyS. La etiqueta de la clase IPCC a nivel de parcela es un insumo indispensable para estimar las existencias anuales de carbono para la clase de “Tierras Forestales” puesto que define el dominio de análisis durante el proceso de estimación. El desarrollo y las características de esta base ya fueron descritas en la sección 8; por lo que no se ahonda más al respecto.

El principal insumo utilizado para estimar el carbono de la BA, BS y MM fue la información dasométrica (diámetros, alturas y conteos) y florística del INFyS. Esta información fue depurada implementando robustos controles de calidad y fue sistematizada y almacenada en bases de datos desarrolladas en el software SQL. El carbono de la BA se obtuvo empleando ecuaciones alométricas específicas (evaluadas en función del diámetro a la altura del pecho y en algunos casos la altura) a nivel de especie y género, y ecuaciones generales a nivel de tipo de vegetación, utilizando además densidades de la madera y fracciones de carbono obtenidas a partir de una exhaustiva recopilación

de literatura. El carbono de la BS se obtuvo ponderando la BA por la relación BS/BA (R) obtenidas de las directrices del IPCC (2006). Finalmente, el carbono de la MM se obtuvo de la suma del carbono de los árboles muertos en pie, tocones y MLC. Para estimar el carbono de los árboles muertos en pie se calculó el volumen de un cono (en función de la altura y el diámetro a la base) para cada individuo y este valor se ponderó por la densidad de la madera. El carbono de los tocones se obtuvo calculando el volumen de un cilindro (en función de la altura y el diámetro a la base) para cada individuo y ponderando este valor por la densidad de la madera y su estado de putrefacción. El carbono de la MM se estimó a nivel de hectárea para cada rango dimétrico evaluando la ecuación de Van Wagner (1982) con el conteo y diámetros del MLC. El COS se tomó directamente de los valores del mapa de COS (2019) de la Universidad de Delaware, estos valores se extrajeron para las áreas de muestreo de todas las CGL del INFyS.

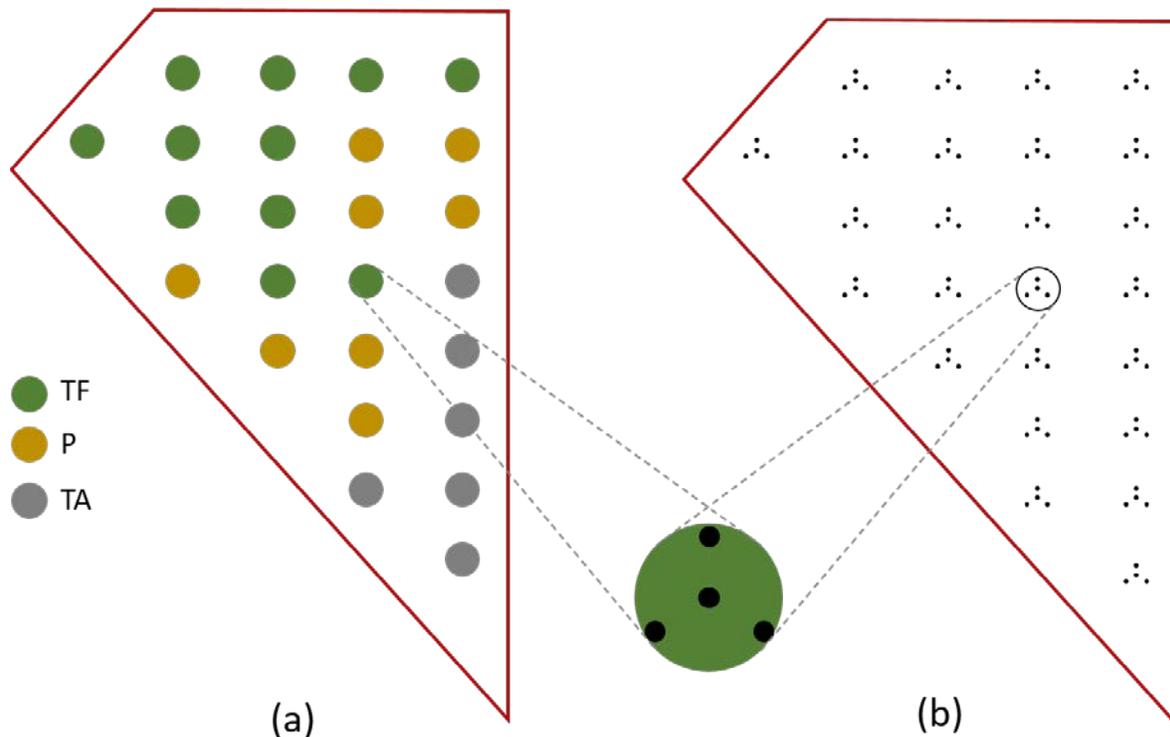
En el caso del carbono de la BA y BS se cuenta con información para el muestreo (2004-2007) y remuestreo del INFyS (2009-2014); sin embargo, debido a que los CGL del INFyS entre estos dos ciclos fueron semipermanentes, no fue posible dar un seguimiento exacto de los cambios a nivel de parcela, por lo que para estos reservorios se decidió utilizar sólo la información del segundo ciclo (que abarca la mayor parte del periodo de referencia 2007-2016) que fue complementada con datos del segundo primer ciclo cuando existieron vacíos de información en el segundo ciclo. Para el caso de la estimación del carbono de la MM, sólo se utilizó información del remuestreo debido a que la información requerida para estimar los subcomponentes de la MM sólo se levantó para el segundo ciclo. El mapa del COS fue elaborado con datos de campo levantados entre 1990 y 2010; por lo que se asumió que el año base de este insumo fue el 2000.

Debido a que se requiere que las estimaciones de los inventarios de gases tengan una periodicidad anual, es necesario aplicar métodos de interpolación y extrapolación cuando se utilizan datos de muestreo. Si no hay disponible una serie temporal lo suficientemente extensa, puede ser necesario extrapolar hacia atrás en el tiempo para capturar la dinámica de los cambios en las existencias de carbono (IPCC, 2006). Tomando en cuenta esta consideración se procedió a extrapolar para cada uno de los años de análisis los datos puntuales de los contenidos de carbono de la BA, BS y MM de cada una de las 26,220 parcelas. Esto se implementó bajo dos modalidades principales: (i) cuando la clase IPCC de la parcela permaneció constante entre el año 2000 y 2016, se asumió que el valor de estos reservorios permaneció constante para todo el periodo y, (ii) cuando ocurrió un cambio de uso entre el año 2000 y 2016, se asumió constante el contenido de carbono hasta el año de cambio; posterior al año de cambio se asignó el valor del carbono del INFyS post-cambio en caso de que se hubiese levantado y en caso contrario se imputó un valor de cero. Para el caso del COS, este se asignó a las UPM en el año 2000 y se mantuvo constante cuando la clase IPCC de la parcela permaneció constante entre el año 2000 y 2016 y para aquellas transiciones de Otros Usos; para las parcelas que cambiaron de "Tierra Forestal" a "Otros Usos", se procedió a aplicar los factores de conversión y la anualización de la pérdida de acuerdo con los mostrados en las Directrices del IPCC (2006)

Una vez desarrolladas las "Base de datos multitemporal con las clases IPCC a nivel de parcela" y las 4 bases de datos con los contenidos de carbono a nivel de sitio/CGL del INFyS, se procedió a estimar las existencias anuales de carbono para cada reservorio. Cuando se toman datos de inventarios existentes a gran escala para la declaración de emisiones o absorciones de gases de efecto invernadero, como inventarios de bosques a nivel nacional, es conveniente aplicar los procedimientos de estimación estándar de ese inventario, mientras estén basados en principios estadísticos sólidos (IPCC, 2006). Por lo tanto, las existencias anuales de carbono de cada reservorio se obtuvieron empleando estimadores adecuados para el diseño de muestreo del INFyS; en particular, para este reporte, se emplearon los estimadores propuestos por Scott (2019). Con fines ilustrativos, el proceso general de estimación de las Existencias de Carbono se muestra a continuación empleando el mismo ejemplo hipotético de la sección 8:

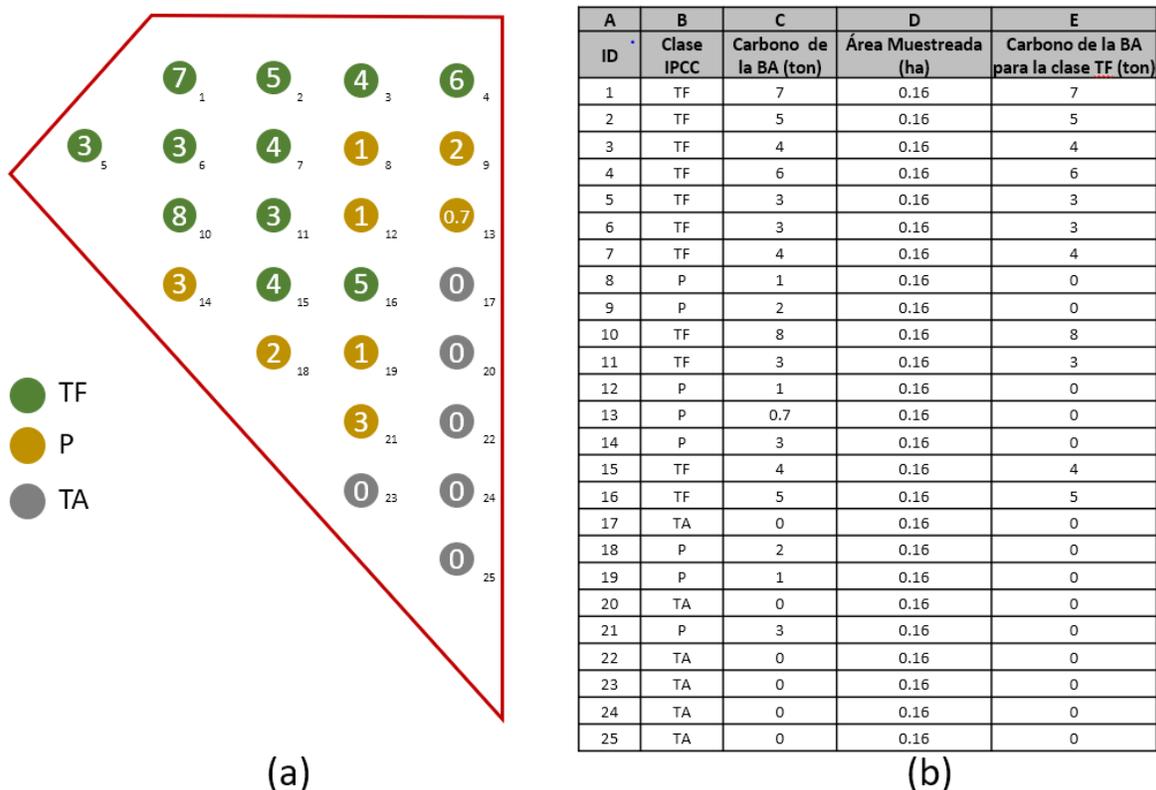
- I. Supongamos que el área de la Ecorregión 3 con intensidad de muestreo de 5x5 km (ver polígono de contorno rojo de la **Figura 21-a**) tiene un área de 1000 ha y tenemos interés en estimar la Existencia de Carbono de la BA para las tierras forestales para un año determinado.

- II. Supongamos que, para un año determinado, conocemos la clase IPCC para las parcelas de la **Figura 21-a** y que para esas mismas ubicaciones conocemos el contenido de carbono de la BA (ver **Figura 21-b**) que fue obtenido a través de un inventario forestal.
- III. Con base en los dos insumos descritos en el punto anterior, se procedió a asignar una etiqueta IPCC a las UPM del inventario forestal (**Figura 21**).



**Figura 21.** Diagrama con la representación de la combinación de la "Base de datos multitemporal con las clases IPCC a nivel de parcela" con la "Base de contenidos de carbono de la BA"

- IV. Con base en el supuesto descrito en el punto III, para un año determinado, fue posible contar con parcelas con clase IPCC y contenido de carbono de la BA conocido (**Figura 22-a**).
- V. La información de las parcelas (Id, clase IPCC, Carbono de la BA y área muestreada) para un año específico fue sistematizada en una base de datos (**Figura 22**)



**Figura 22.** (a) Diagrama con la representación de los contenidos de carbono de la BA con sus respectivas clases IPCC identificadas a nivel de parcela (b) Tabla con la información de las parcelas representadas en la Figura (a)

- VI. Por lo tanto, para obtener la existencia de carbono para la clase “Tierra Forestal” en la Ecorregión 3 con intensidad de muestreo de 5x5 km, se generó una variable en la que se identificó a nivel de parcela el carbono del dominio “Tierra Forestal” (Ver columna E de la Tabla XX). Con base en esta variable, se procedió a obtener el contenido promedio de carbono de la clase forestal ( $EC_{TF}$ ) en el área de interés, dividiendo la “suma de los contenidos de carbono del dominio tierra forestal” entre la “suma del área muestreada”:

$$EC_{TF} = \frac{7 + 5 + 4 + 6 + 3 + 3 + 4 + 0 + 0 + 8 + 3 + 0 + 0 + 0 + 4 + 5 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0}{25 \times 0.16} = 13 \text{ ton/ha}$$

- VII. La existencia total de carbono de la tierra forestal en la Ecorregión 3 con intensidad de muestreo de 5x5 km (cuya área es de 1000 ha), se obtuvo de acuerdo con lo siguiente:

$$EC_{TF} = 1000 \text{ ha} \times 13 \frac{\text{t}}{\text{ha}} = 13,000 \text{ ton C}$$

Para obtener las estimaciones de las existencias de cada reservorio a nivel nacional, primero se procedió a obtener las existencias de cada Ecorregión Nivel 1- Intensidad de muestreo y posteriormente se sumaron para obtener el valor a nivel nacional. Para un año en particular, las existencias de carbono de la clase forestal para cada reservorio (a nivel de Ecorregión Nivel 1- Intensidad de muestreo) se obtuvieron de manera análoga a lo mostrado en el ejemplo anterior.

El proceso de desarrollo de las cuatro bases de datos de carbono para los reservorios reportados y, la estimación de existencias de carbono y sus incertidumbres, se describe detalladamente las secciones II y III del **Anexo metodológico**.

## **9.2. Resultados de las existencias de Carbono en las Tierras Forestales de México**

### **9.2.1. Contenidos de Carbono forestal por unidad de superficie**

En esta sección se presentan los estimadores de razón de los contenidos de Carbono para la clase de Tierras Forestales por unidad de superficie (1 ha) de cada sub-estrato (ecorregión – intensidad de muestreo) para los 4 reservorios incluidos en el NREF. Los estimadores de razón pueden concebirse como la cantidad de Carbono forestal que existe en la superficie de 1 hectárea de una ecorregión dada con una intensidad de muestreo dada, como se explicó en la sección anterior.

#### **Biomasa aérea**

El **Cuadro 14** muestra los contenidos de Carbono forestal en la BA por unidad de superficie de cada sub-estrato, medidos en ton C/ha. Los valores más altos se encuentran en los sub-estratos de Sierras Templadas con equidistancia de 5x5km (26.05 – 26.46) y de Selvas Cálido-Húmedas con equidistancia de 5x5km (24.87 – 23.97). En la mayoría de los sub-estratos, los estimadores de razón tienen una tendencia decreciente hasta el final del periodo 2000-2016, por lo que el menor valor del estimador se encontró en el año 2016 en la mayoría de los casos. El **Cuadro 15** muestra las incertidumbres asociadas a dichos estimadores.

#### **Biomasa subterránea**

Los **Cuadro 16**, **Cuadro 17** muestran los contenidos de Carbono forestal en la BS por ecorregión e intensidad de muestreo y sus incertidumbres asociadas, respectivamente. Los valores máximos se encontraron en los sub-estratos de Sierras Templadas con equidistancia de 5x5km (9.64 – 9.49) y de Selvas Cálido-Húmedas con equidistancia de 5x5km (6.51 – 6.23). Cabe señalar que dichos valores conservan la misma tendencia decreciente en todo el periodo. En la mayoría de los sub-estratos los menores valores del estimador se encontraron en el último año analizado.

#### **Madera muerta**

Los estimadores de razón del contenido de Carbono forestal en Madera Muerta por ecorregión e intensidad de muestreo se muestran en el **Cuadro 18** y sus respectivas incertidumbres en el **Cuadro 19**. En cuanto a los estimadores de razón, se registran los valores más altos en los sub-estratos de Selvas Cálido Húmeda con equidistancia de 5x5 (4.33 – 4.19) y con equidistancia 10x10 (2.74 – 2.67). Aunque dichos valores muestran tendencias decrecientes a través del tiempo, la diferencia entre ellos, para un mismo sub-estrato, no es de gran magnitud e inclusive en algunos casos el estimador se mantiene constante.

#### **Carbono orgánico de suelos**

##### **Cuadro 15**

Los contenidos de Carbono orgánico del suelo en Tierras Forestales por tipo de ecorregión y equidistancia se muestran en el **Cuadro 20**. Los valores de los estimadores de razón son considerablemente superiores a los valores observados en los demás reservorios. El sub-estrato con los valores más altos corresponde a las Selvas Cálido-Húmedas con equidistancia de muestreo de 5x5km, con valores que oscilan entre 37.13 y 34.42. El segundo valor más alto corresponde al sub-estrato de Grandes Planicies y equidistancia de 5x5 km. En el **Cuadro 21** se muestran las incertidumbres correspondientes a los estimadores por sub-estrato.

**Cuadro 14.** Estimadores de razón del contenido de carbono forestal en Biomasa Aérea por unidad de superficie de cada sub-estrato (ton C/ha)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.78	0.78
CalMed- 20x20- TF	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
CalMed- 5x5- TF	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.36	8.36	8.36
DesAN- 10x10- TF	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.69	1.69	1.69
DesAN- 20x20- TF	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
DesAN- 5x5- TF	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.78	4.78
ElevSM- 10x10- TF	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.63	4.59	4.59
ElevSM- 20x20- TF	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
ElevSM- 5x5- TF	9.71	9.71	9.71	9.71	9.71	9.71	9.70	9.70	9.70	9.70	9.70	9.70	9.70	9.70	9.67	9.67	9.67
GraPla- 10x10- TF	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77
GraPla- 20x20- TF	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
GraPla- 5x5- TF	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77
SCH- 10x10- TF	12.52	12.52	12.52	12.52	12.52	12.52	12.52	12.52	12.52	12.52	12.48	12.48	12.48	12.48	12.47	12.34	12.26
SCH- 20x20- TF	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74	3.70	3.67	3.67	3.67	3.67	3.62	3.59	3.56	3.35
SCH- 5x5- TF	24.87	24.87	24.87	24.87	24.87	24.86	24.82	24.71	24.61	24.50	24.42	24.36	24.28	24.20	24.12	24.05	23.97
SCS- 10x10- TF	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.34	9.33	9.33	9.29	9.27	9.25	9.25	9.23	9.18	9.16
SCS- 20x20- TF	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.92	1.92	1.90	1.90	1.89	1.88
SCS- 5x5- TF	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24	15.22	15.21	15.20	15.18	15.18	15.16	15.11	15.10	15.05	15.04	14.99	14.94
SieTem- 10x10- TF	10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	10.41	10.41	10.41	10.41	10.41	10.36	10.36	10.33	10.33	10.33	10.33
SieTem- 20x20- TF	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.57	7.56	7.56	7.56	7.56	7.56
SieTem- 5x5- TF	26.46	26.46	26.46	26.46	26.46	26.45	26.43	26.43	26.41	26.38	26.36	26.30	26.24	26.21	26.15	26.11	26.05

CalMed - California Mediterránea

DesAN - Desiertos de América del Norte

ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies

SCH - Selvas Cálido-Húmedas

SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas

TF - Tierras Forestales

**Cuadro 15.** Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono forestal en Biomasa Aérea por unidad de superficie de cada sub-estrato (%)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
CalMed- 20x20- TF	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
CalMed- 5x5- TF	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	49	49	49
DesAN- 10x10- TF	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
DesAN- 20x20- TF	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
DesAN- 5x5- TF	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
ElevSM- 10x10- TF	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
ElevSM- 20x20- TF	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
ElevSM- 5x5- TF	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
GraPla- 10x10- TF	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
GraPla- 20x20- TF	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	84	84	84	84	84	84
GraPla- 5x5- TF	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
SCH- 10x10- TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	13	13
SCH- 20x20- TF	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29	30
SCH- 5x5- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SCS- 10x10- TF	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SCS- 20x20- TF	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29	29	29	29	30
SCS- 5x5- TF	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SieTem- 10x10- TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
SieTem- 20x20- TF	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20
SieTem- 5x5- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

CalMed - California Mediterránea

DesAN - Desiertos de América del Norte

ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies

SCH - Selvas Cálido-Húmedas

SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas

TF - Tierras Forestales

**Cuadro 16.** Estimadores de razón del contenido de carbono forestal en Biomasa Subterránea por unidad de superficie de cada sub-estrato (ton C/ha)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31
CalMed- 20x20- TF	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
CalMed- 5x5- TF	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	2.90	2.90	2.90
DesAN- 10x10- TF	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.68	0.68
DesAN- 20x20- TF	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
DesAN- 5x5- TF	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.96	1.96	1.96
ElevSM- 10x10- TF	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.16	2.14	2.14
ElevSM- 20x20- TF	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
ElevSM- 5x5- TF	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.27	4.27	4.27
GraPla- 10x10- TF	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
GraPla- 20x20- TF	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
GraPla- 5x5- TF	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29
SCH- 10x10- TF	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.60	2.58	2.56
SCH- 20x20- TF	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.06	1.05	1.05	0.99
SCH- 5x5- TF	6.51	6.51	6.51	6.51	6.51	6.51	6.49	6.46	6.42	6.38	6.36	6.34	6.32	6.30	6.27	6.25	6.23
SCS- 10x10- TF	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.95	3.95	3.95	3.93	3.93	3.92	3.91	3.91	3.89	3.88
SCS- 20x20- TF	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.70	0.70	0.69	0.69	0.69	0.69
SCS- 5x5- TF	5.82	5.82	5.82	5.82	5.82	5.81	5.81	5.80	5.80	5.79	5.79	5.76	5.76	5.74	5.74	5.72	5.71
SieTem- 10x10- TF	4.22	4.22	4.22	4.22	4.22	4.22	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.18	4.18	4.17	4.17	4.17	4.17
SieTem- 20x20- TF	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76
SieTem- 5x5- TF	9.64	9.64	9.64	9.64	9.64	9.63	9.63	9.63	9.62	9.61	9.60	9.58	9.56	9.55	9.53	9.51	9.49

CalMed - California Mediterránea      GraPla - Grandes Planicies      SieTem - Sierras Templadas  
DesAN - Desiertos de América del Norte      SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales      SCS - Selvas Cálido-Secas      TF- Tierras Forestales

**Cuadro 17.** Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono forestal en Biomasa Subterránea por unidad de superficie de cada sub-estrato (%)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	61	61
CalMed- 20x20- TF	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
CalMed- 5x5- TF	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	43	43	43
DesAN- 10x10- TF	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
DesAN- 20x20- TF	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
DesAN- 5x5- TF	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
ElevSM- 10x10- TF	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
ElevSM- 20x20- TF	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
ElevSM- 5x5- TF	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
GraPla- 10x10- TF	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
GraPla- 20x20- TF	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	81	81	81	81	81	81
GraPla- 5x5- TF	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
SCH- 10x10- TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
SCH- 20x20- TF	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	30	30	30	32
SCH- 5x5- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
SCS- 10x10- TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
SCS- 20x20- TF	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	28	28	28	28
SCS- 5x5- TF	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SieTem- 10x10- TF	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
SieTem- 20x20- TF	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
SieTem- 5x5- TF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

CalMed - California Mediterránea      GraPla - Grandes Planicies      SieTem - Sierras Templadas  
DesAN - Desiertos de América del Norte      SCH - Selvas Cálido-Húmedas      TF- Tierras Forestales  
ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales      SCS - Selvas Cálido-Secas

**Cuadro 18.** Estimadores de razón del contenido de carbono forestal en Madera Muerta por unidad de superficie de cada sub-estrato (ton C/ha)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.56	0.56	0.56
CalMed- 20x20- TF	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
CalMed- 5x5- TF	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.00	2.00	2.00
DesAN- 10x10- TF	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
DesAN- 20x20- TF	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
DesAN- 5x5- TF	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.57	0.56	0.56
ElevSM- 10x10- TF	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.71	0.70	0.70
ElevSM- 20x20- TF	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
ElevSM- 5x5- TF	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	0.93
GraPla- 10x10- TF	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
GraPla- 20x20- TF	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
GraPla- 5x5- TF	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
SCH- 10x10- TF	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.73	2.70	2.67
SCH- 20x20- TF	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.57	0.57	0.57	0.57	0.51	0.51	0.50	0.49
SCH- 5x5- TF	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.32	4.31	4.28	4.25	4.22	4.21	4.19
SCS- 10x10- TF	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.44	1.44
SCS- 20x20- TF	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.44	0.23	0.23
SCS- 5x5- TF	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.63	1.61	1.61	1.61	1.61
SieTem- 10x10- TF	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.12	1.12	1.12	1.11	1.11	1.11
SieTem- 20x20- TF	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
SieTem- 5x5- TF	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.44	2.44	2.43	2.42	2.41	2.41

CalMed - California Mediterránea  
 DesAN - Desiertos de América del Norte  
 ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
 SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
 SCS - Selvas Cálido-Secas

SCS - Selvas Cálido-Secas  
 TF- Tierras Forestales

**Cuadro 19.** Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono forestal en Madera Muerta por unidad de superficie de cada sub-estrato (%)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
CalMed- 20x20- TF	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
CalMed- 5x5- TF	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
DesAN- 10x10- TF	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
DesAN- 20x20- TF	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
DesAN- 5x5- TF	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	29	29	29
ElevSM- 10x10- TF	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
ElevSM- 20x20- TF	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	39	39	39	39	39
ElevSM- 5x5- TF	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
GraPla- 10x10- TF	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
GraPla- 20x20- TF	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	50	50	50	50	50	50
GraPla- 5x5- TF	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
SCH- 10x10- TF	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22
SCH- 20x20- TF	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	30	30	31	32
SCH- 5x5- TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
SCS- 10x10- TF	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
SCS- 20x20- TF	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	94	94	32	33
SCS- 5x5- TF	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
SieTem- 10x10- TF	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
SieTem- 20x20- TF	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
SieTem- 5x5- TF	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

CalMed - California Mediterránea  
 DesAN - Desiertos de América del Norte  
 ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
 SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
 SCS - Selvas Cálido-Secas

SCS - Selvas Cálido-Secas  
 TF- Tierras Forestales

**Cuadro 20.** Estimadores de razón del contenido de carbono forestal en COS por unidad de superficie de cada sub-estrato (ton C/ha)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	25.11	25.11	25.11	25.11	25.11	25.11	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	24.78	24.78	24.54	24.42	24.42
CalMed- 20x20- TF	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46
CalMed- 5x5- TF	26.50	26.50	26.50	26.50	26.50	26.50	26.50	26.50	26.50	26.50	26.50	26.50	26.50	26.50	26.00	26.00	26.00
DesAN- 10x10- TF	11.52	11.52	11.52	11.52	11.52	11.52	11.52	11.48	11.48	11.46	11.46	11.45	11.45	11.45	11.44	11.44	11.41
DesAN- 20x20- TF	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
DesAN- 5x5- TF	24.69	24.69	24.69	24.69	24.69	24.69	24.69	24.69	24.69	24.69	24.69	24.69	24.55	24.55	24.49	24.49	24.49
ElevSM- 10x10- TF	21.52	21.52	21.52	21.52	21.52	21.06	21.06	21.06	21.06	20.78	20.78	20.78	20.78	20.78	20.37	20.15	20.15
ElevSM- 20x20- TF	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.68	6.68	6.68	6.63	6.63	6.63	6.59	6.59
ElevSM- 5x5- TF	21.47	21.47	21.47	21.47	21.47	21.47	21.45	21.45	21.45	21.45	21.42	21.42	21.42	21.42	21.36	21.36	21.33
GraPla- 10x10- TF	26.56	26.56	26.51	26.51	26.51	26.47	26.47	26.47	26.41	26.35	26.26	26.26	26.20	26.20	26.20	26.10	26.10
GraPla- 20x20- TF	9.10	9.10	9.10	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.52	8.52	8.34	8.34	8.34	8.34
GraPla- 5x5- TF	33.01	33.01	33.01	33.01	33.01	33.01	33.01	33.01	33.01	33.01	33.01	33.01	33.01	33.01	33.01	33.01	33.01
SCH- 10x10- TF	25.72	25.58	25.58	25.58	25.46	25.46	25.46	25.46	25.46	25.39	25.26	25.26	25.26	25.26	25.12	24.85	24.60
SCH- 20x20- TF	10.36	10.31	10.12	10.08	10.00	10.00	10.00	10.00	9.90	9.79	9.59	9.59	9.49	9.39	9.29	9.19	8.82
SCH- 5x5- TF	37.13	37.11	37.01	36.95	36.82	36.69	36.53	36.31	36.09	35.79	35.58	35.43	35.22	35.01	34.78	34.59	34.42
SCS- 10x10- TF	20.18	20.18	20.14	20.05	20.01	19.96	19.94	19.92	19.88	19.84	19.78	19.70	19.68	19.62	19.58	19.51	19.48
SCS- 20x20- TF	8.66	8.66	8.58	8.48	8.48	8.48	8.48	8.48	8.36	8.36	8.36	8.28	8.25	8.18	7.98	7.86	7.75
SCS- 5x5- TF	25.26	25.23	25.18	25.18	25.14	25.10	25.09	25.07	24.99	24.98	24.91	24.80	24.76	24.63	24.59	24.54	24.50
SieTem- 10x10- TF	25.89	25.89	25.89	25.89	25.89	25.72	25.65	25.65	25.65	25.65	25.65	25.52	25.52	25.43	25.37	25.37	25.37
SieTem- 20x20- TF	13.34	13.34	13.34	13.34	13.34	13.34	13.34	13.34	13.34	13.34	13.34	13.34	13.13	13.13	13.13	13.13	13.13
SieTem- 5x5- TF	30.03	30.01	29.99	29.98	29.96	29.91	29.89	29.86	29.83	29.77	29.75	29.70	29.64	29.60	29.53	29.49	29.44

CalMed - California Mediterránea  
DesAN - Desiertos de América del Norte  
ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas

TF- Tierras Forestales

**Cuadro 21.** Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono forestal en COS por unidad de superficie de cada sub-estrato (%)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5
CalMed- 20x20- TF	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
CalMed- 5x5- TF	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
DesAN- 10x10- TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
DesAN- 20x20- TF	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
DesAN- 5x5- TF	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
ElevSM- 10x10- TF	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8
ElevSM- 20x20- TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
ElevSM- 5x5- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
GraPla- 10x10- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
GraPla- 20x20- TF	20	20	20	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22
GraPla- 5x5- TF	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SCH- 10x10- TF	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
SCH- 20x20- TF	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16	16	16	17
SCH- 5x5- TF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SCS- 10x10- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SCS- 20x20- TF	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16
SCS- 5x5- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SieTem- 10x10- TF	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SieTem- 20x20- TF	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
SieTem- 5x5- TF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

CalMed - California Mediterránea  
DesAN - Desiertos de América del Norte  
ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas

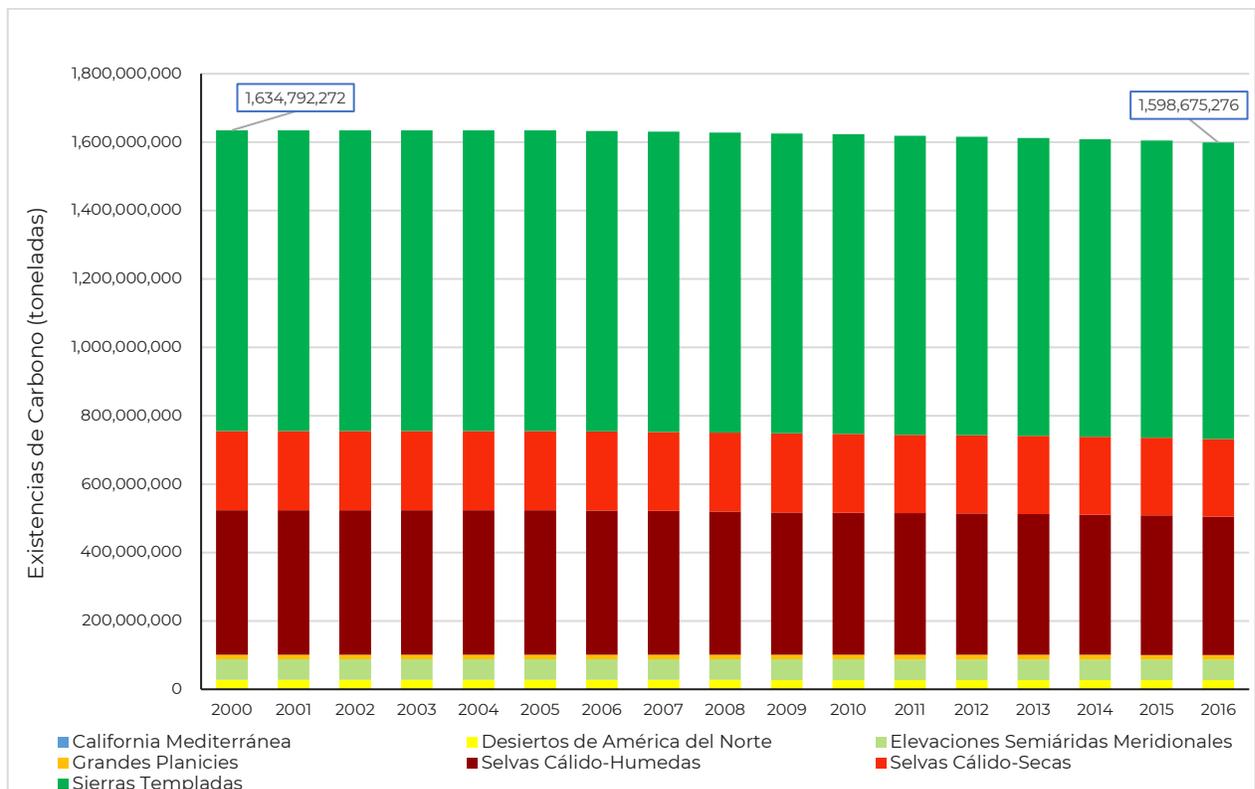
TF- Tierras Forestales

## 9.2.2. Existencias de Carbono en las Tierras Forestales de México por ecorregión y reservorio

Los estimadores de razón anteriores fueron multiplicados por las respectivas superficies de cada sub-estrato, con la finalidad de estimar las existencias de Carbono en las Tierras Forestales de México por sub-estrato y reservorio. Estos datos, y sus incertidumbres asociadas, se encuentran en los **Cuadros 22 a 27**. Una agregación de esta información a nivel de ecorregión se presenta en las siguientes gráficas.

### 9.2.2.1. Biomasa aérea

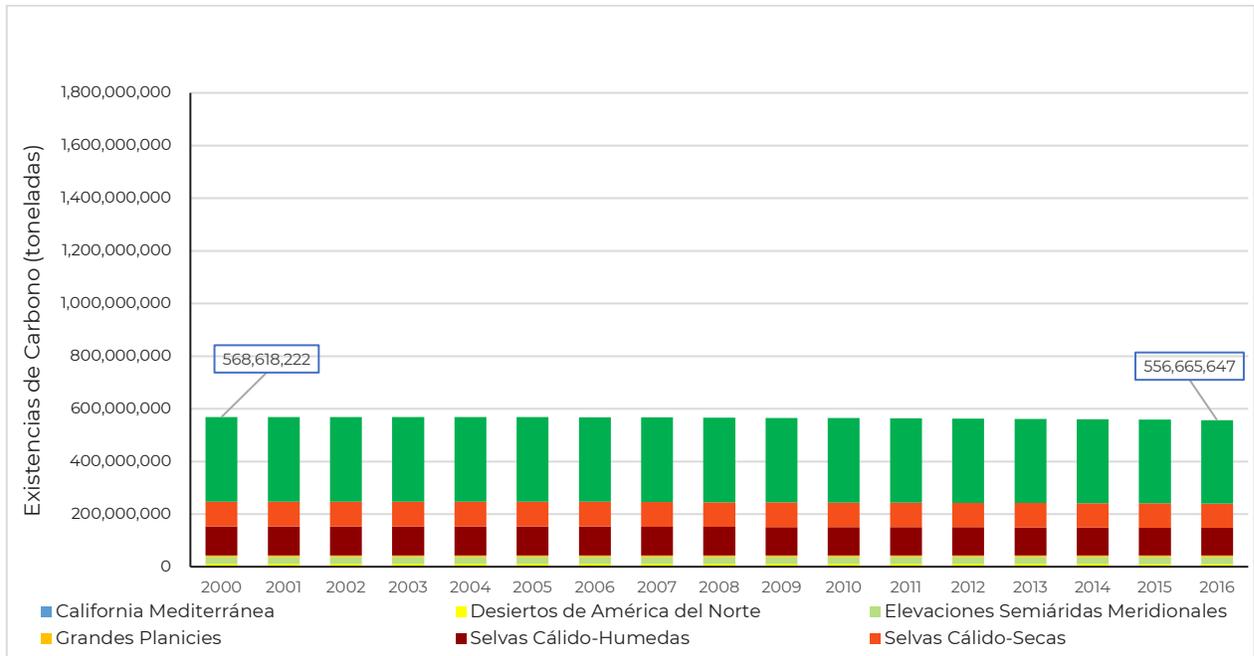
Las existencias de Carbono en las Tierras Forestales de México, correspondientes a la BA, muestran una tendencia decreciente en todo el periodo analizado, pasando de 1,634,792,272 ton en 2000 a 1,598,675,276 en 2016. La mayor aportación de estas existencias proviene de la ecorregión de Sierras Templadas, seguida por las Selvas Cálido-Húmedas y las Selvas Cálido-Secas (**Figura 23**).



**Figura 23.** Existencias anuales de Carbono en Biomasa Aérea de Tierras Forestales en el periodo 2000 - 2016

### 9.2.2.2. Biomasa subterránea

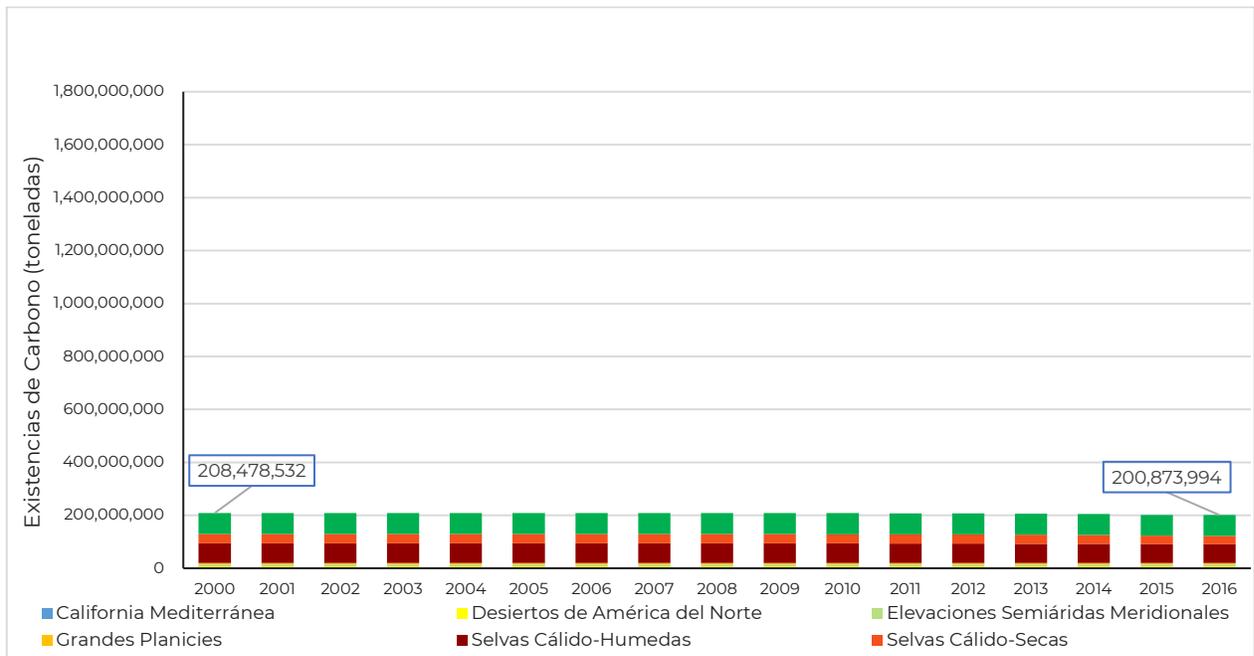
Las existencias de Carbono en las Tierras Forestales de México, correspondientes a la BS, muestran una tendencia decreciente en todo el periodo analizado, pasando de 568,618,222 ton en 2000 a 556,665,647 en 2016. La mayor aportación de estas existencias proviene de la ecorregión de Sierras Templadas, seguida por las Selvas Cálido-Húmedas y las Selvas Cálido-Secas (**Figura 24**).



**Figura 24.** Existencias anuales de Carbono en Biomasa Subterránea de Tierras Forestales en el periodo 2000 - 2016

### 9.2.2.3. Madera muerta

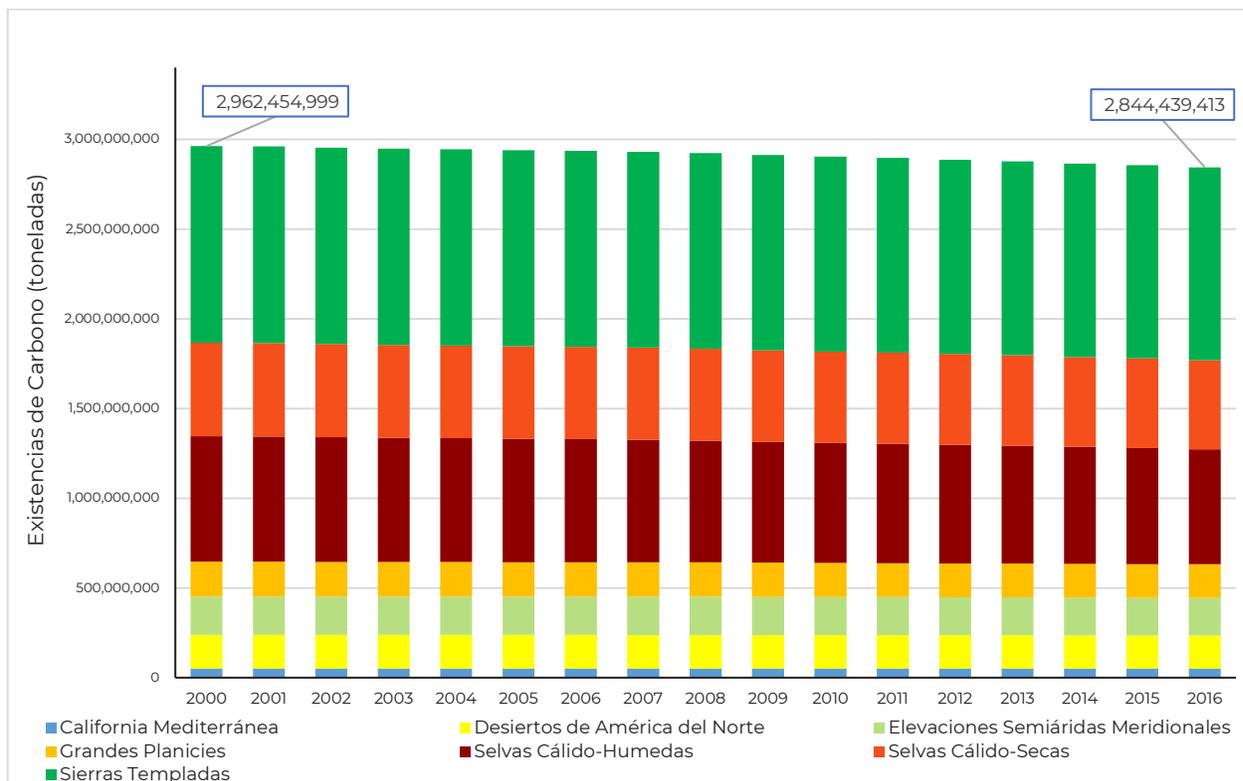
Las existencias de Carbono en las Tierras Forestales de México, correspondientes a la Madera Muerta, muestran una tendencia decreciente en todo el periodo analizado, pasando de 208,478,532 ton en 2000 a 200,873,994 en 2016. La mayor aportación de estas existencias proviene de la ecorregión de Sierras Templadas, seguida por las Selvas Cálido-Húmedas y las Selvas Cálido-Secas (**Figura 25**).



**Figura 25.** Existencias anuales de Carbono en Madera Muerta de Tierras Forestales por ecorregión en el periodo 2000 - 2016

### 9.2.2.4. Carbono orgánico de suelos

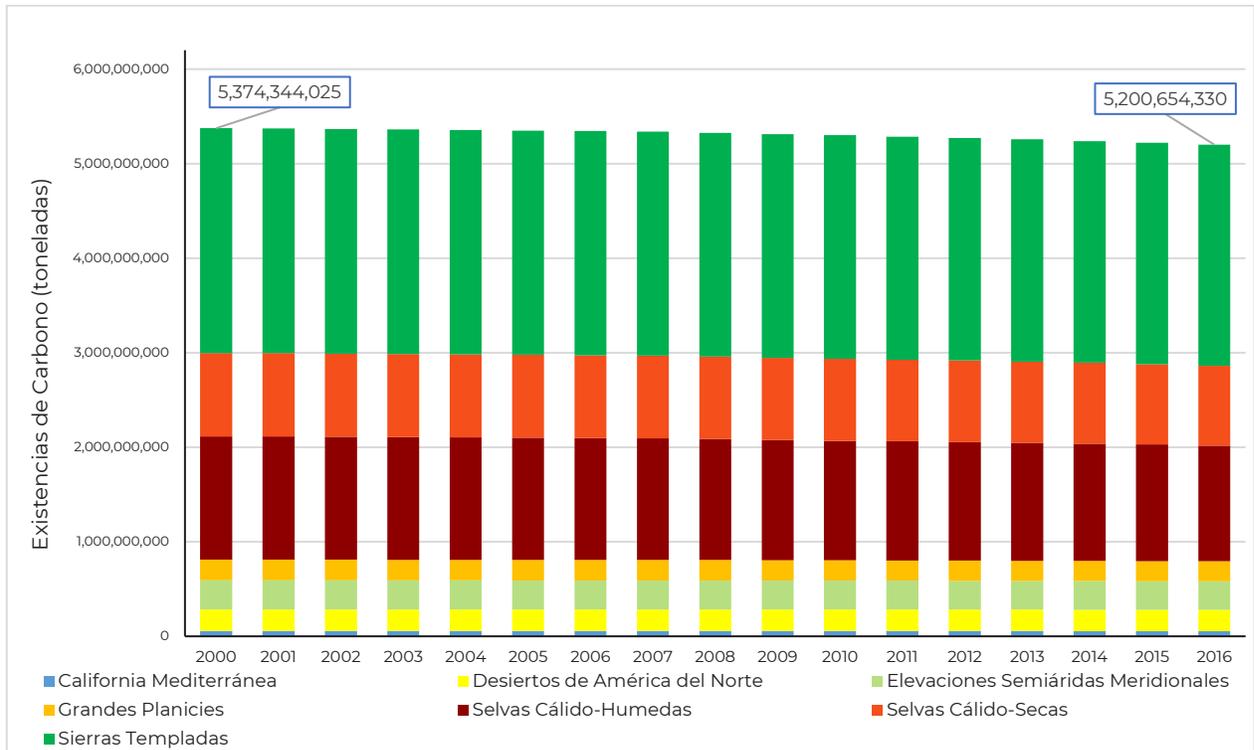
Las existencias de Carbono Orgánico en Suelos en las Tierras Forestales de México muestran una tendencia decreciente en todo el periodo analizado, pasando de 2,962,454,999 ton en 2000 a 2,844,439,413 en 2016. La mayor aportación de estas existencias proviene de la ecorregión de Sierras Templadas, seguida por las Selvas Cálido-Húmedas y las Selvas Cálido-Secas (**Figura 26**).



**Figura 26.** Existencias anuales de Carbono en Suelos de Tierras Forestales por ecorregión en el periodo 2000 - 2016

### 9.2.2.5. Suma de los cuatro reservorios

Las existencias totales que consideran los cuatro reservorios anteriores en las Tierras Forestales de México ascienden a 5,374,344,025 ton en 2000 y muestran una tendencia decreciente en todo el periodo analizado, pasando a 5,200,654,330 de ton de C en 2016. La mayor aportación de estas existencias proviene de la ecorregión de Sierras Templadas, seguida por las Selvas Cálido-Húmedas y las Selvas Cálido-Secas (**Figura 27**).



**Figura 27.** Existencias anuales de Carbono total en Tierras Forestales por ecorregión en el periodo 2000 - 2016

**Cuadro 22.** Existencias de Carbono Forestal en Biomasa Aérea por ecorregión y equidistancia de muestreo (Toneladas)

Categoría	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	1,225,512	1,225,512	1,225,512	1,225,512	1,225,512	1,225,512	1,223,601	1,223,601	1,223,601	1,223,601	1,223,601	1,223,601	1,223,601	1,223,601	1,223,601	1,208,797	1,208,797
CalMed- 20x20- TF	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968
CalMed- 5x5- TF	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,342,816	1,342,816	1,342,816
DesAN- 10x10- TF	18,762,818	18,762,818	18,762,818	18,762,818	18,762,818	18,762,818	18,762,818	18,738,052	18,738,052	18,723,191	18,723,191	18,698,477	18,698,477	18,698,477	18,626,177	18,586,205	18,571,753
DesAN- 20x20- TF	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455
DesAN- 5x5- TF	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,003,816	3,999,556	3,999,556
ElevSM- 10x10- TF	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,192,649	6,133,247	6,133,247
ElevSM- 20x20- TF	27,792,919	27,792,919	27,792,919	27,792,919	27,792,919	27,792,919	27,792,919	27,792,919	27,792,919	27,792,919	27,792,919	27,761,739	27,761,739	27,761,739	27,717,871	27,685,448	27,685,448
ElevSM- 5x5- TF	26,514,141	26,514,141	26,514,141	26,514,141	26,514,141	26,514,141	26,494,149	26,494,149	26,494,149	26,494,149	26,494,149	26,483,483	26,483,483	26,483,483	26,416,470	26,416,470	26,412,551
GraPla- 10x10- TF	9,438,751	9,438,751	9,438,751	9,438,751	9,438,751	9,438,751	9,438,751	9,438,751	9,403,003	9,402,144	9,401,702	9,401,702	9,401,702	9,401,702	9,401,702	9,401,702	9,401,702
GraPla- 20x20- TF	2,597,769	2,597,769	2,597,769	2,597,769	2,597,769	2,597,769	2,597,769	2,597,769	2,597,769	2,597,769	2,597,769	2,545,462	2,545,462	2,545,462	2,545,462	2,545,462	2,545,462
GraPla- 5x5- TF	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389
SCH- 10x10- TF	28,476,613	28,476,613	28,476,613	28,476,613	28,476,613	28,476,613	28,476,613	28,476,613	28,476,613	28,476,613	28,473,181	28,395,186	28,395,186	28,395,186	28,395,186	28,374,514	28,073,927
SCH- 20x20- TF	41,166,760	41,166,760	41,166,760	41,166,760	41,166,760	41,166,760	41,166,760	41,166,760	41,166,760	40,691,514	40,366,499	40,366,499	40,366,499	40,366,499	39,802,999	39,482,301	39,118,249
SCH- 5x5- TF	352,663,54	352,663,54	352,663,54	352,663,54	352,663,54	352,663,54	352,524,72	351,908,658	350,392,162	348,950,62	347,401,59	346,231,200	345,457,471	344,289,39	343,177,127	341,957,278	341,011,894
SCS- 10x10- TF	143,435,855	143,435,855	143,435,855	143,435,855	143,435,855	143,435,855	143,422,506	143,009,801	142,883,36	142,832,661	142,317,193	141,891,270	141,699,878	141,589,190	141,309,832	140,617,071	140,297,211
SCS- 20x20- TF	24,014,703	24,014,703	24,014,703	24,014,703	24,014,703	24,014,703	24,014,703	24,014,703	24,014,703	24,014,703	24,014,703	23,450,134	23,450,134	23,268,600	23,187,615	23,119,549	23,001,151
SCS- 5x5- TF	64,268,667	64,268,667	64,268,667	64,268,667	64,268,667	64,173,044	64,146,718	64,119,390	64,042,841	64,022,335	63,960,943	63,726,291	63,681,522	63,491,266	63,454,203	63,217,312	63,011,574
SieTem- 10x10- TF	33,428,150	33,428,150	33,428,150	33,428,150	33,428,150	33,428,150	33,348,095	33,348,095	33,348,095	33,348,095	33,348,095	33,196,134	33,196,134	33,097,589	33,094,998	33,094,998	33,094,998
SieTem- 20x20- TF	84,962,986	84,962,986	84,962,986	84,962,986	84,962,986	84,962,986	84,962,986	84,962,986	84,962,986	84,962,986	84,962,986	84,792,417	84,657,708	84,657,708	84,657,708	84,657,708	84,657,708
SieTem- 5x5- TF	761,037,306	761,037,306	761,037,306	761,037,306	761,033,073	760,845,20	760,280,94	760,192,128	759,742,22	758,842,21	758,163,938	756,424,47	754,856,84	753,907,81	752,221,510	750,970,46	749,311,980

CalMed - California Mediterránea

GraPla - Grandes Planicies

SieTem - Sierras Templadas

DesAN - Desiertos de América del Norte

SCH - Selvas Cálido-Húmedas

ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

SCS - Selvas Cálido-Secas

TF- Tierras Forestales

**Cuadro 23.** Incertidumbre de las existencias de Carbono Forestal en Biomasa Aérea ecorregión y equidistancia de muestreo

Categoría	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
CalMed- 20x20- TF	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
CalMed- 5x5- TF	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	49	49	49
DesAN- 10x10- TF	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
DesAN- 20x20- TF	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
DesAN- 5x5- TF	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
ElevSM- 10x10- TF	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
ElevSM- 20x20- TF	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
ElevSM- 5x5- TF	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
GraPla- 10x10- TF	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
GraPla- 20x20- TF	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	84	84	84	84	84	84
GraPla- 5x5- TF	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
SCH- 10x10- TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	13	13
SCH- 20x20- TF	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29	30
SCH- 5x5- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SCS- 10x10- TF	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SCS- 20x20- TF	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29	29	29	29	30
SCS- 5x5- TF	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SieTem- 10x10- TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
SieTem- 20x20- TF	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20
SieTem- 5x5- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

CalMed - California Mediterránea

GraPla - Grandes Planicies

SieTem - Sierras Templadas

DesAN - Desiertos de América del Norte

SCH - Selvas Cálido-Húmedas

ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

SCS - Selvas Cálido-Secas

TF- Tierras Forestales

**Cuadro 24.** Existencias de Carbono Forestal en Biomasa Subterránea por ecorregión y equidistancia de muestreo (Toneladas)

Categoría	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	492,573	492,573	492,573	492,573	492,573	492,573	491,809	491,809	491,809	491,809	491,809	491,809	491,809	491,809	491,809	483,519	483,519
CalMed- 20x20- TF	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187
CalMed- 5x5- TF	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	465,350	465,350
DesAN- 10x10- TF	7,597,119	7,597,119	7,597,119	7,597,119	7,597,119	7,597,119	7,597,119	7,587,213	7,587,213	7,582,978	7,582,978	7,573,092	7,573,092	7,573,092	7,544,172	7,528,183	7,522,402
DesAN- 20x20- TF	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409
DesAN- 5x5- TF	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,642,664	1,640,705	1,640,705
ElevSM- 10x10- TF	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,885,615	2,861,854
ElevSM- 20x20- TF	11,738,296	11,738,296	11,738,296	11,738,296	11,738,296	11,738,296	11,738,296	11,738,296	11,738,296	11,725,824	11,725,824	11,725,824	11,708,277	11,708,277	11,708,277	11,695,308	11,695,308
ElevSM- 5x5- TF	11,694,598	11,694,598	11,694,598	11,694,598	11,694,598	11,694,598	11,686,002	11,686,002	11,686,002	11,686,002	11,681,096	11,681,096	11,681,096	11,681,096	11,650,270	11,650,270	11,648,467
GraPla- 10x10- TF	3,797,988	3,797,988	3,797,988	3,797,988	3,797,988	3,797,988	3,797,988	3,797,988	3,787,800	3,787,456	3,787,280	3,787,280	3,787,280	3,787,280	3,787,280	3,787,280	3,787,280
GraPla- 20x20- TF	917,973	917,973	917,973	917,973	917,973	917,973	917,973	917,973	917,973	917,973	917,973	897,050	897,050	897,050	897,050	897,050	897,050
GraPla- 5x5- TF	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216
SCH- 10x10- TF	5,945,422	5,945,422	5,945,422	5,945,422	5,945,422	5,945,422	5,945,422	5,945,422	5,945,422	5,944,443	5,928,845	5,928,845	5,928,845	5,928,845	5,921,971	5,861,854	5,822,869
SCH- 20x20- TF	12,010,265	12,010,265	12,010,265	12,010,265	12,010,265	12,010,265	12,010,265	12,010,265	12,010,265	11,915,216	11,850,213	11,850,213	11,850,213	11,672,159	11,590,901	11,518,091	10,881,021
SCH- 5x5- TF	92,304,06	92,304,06	92,304,06	92,304,06	92,304,06	92,255,560	92,044,46	91,564,550	91,058,759	90,530,591	90,172,629	89,944,40	89,607,157	89,324,69	88,951,506	88,638,72	88,331,699
SCS- 10x10- TF	60,667,07	60,667,073	60,667,073	60,667,073	60,667,07	60,667,073	60,663,268	60,547,711	60,479,64	60,457,596	60,253,519	60,110,961	60,003,78	59,945,018	59,842,095	59,530,795	59,404,67
SCS- 20x20- TF	8,770,880	8,770,880	8,770,880	8,770,880	8,770,880	8,770,880	8,770,880	8,770,880	8,770,880	8,770,880	8,770,880	8,548,251	8,548,251	8,496,514	8,473,433	8,446,207	8,412,463
SCS- 5x5- TF	24,541,006	24,541,006	24,541,006	24,541,006	24,541,006	24,506,303	24,491,560	24,478,98	24,444,62	24,438,78	24,417,887	24,311,027	24,288,70	24,207,315	24,191,698	24,130,531	24,070,27
SieTem- 10x10- TF	13,511,826	13,511,826	13,511,826	13,511,826	13,511,826	13,511,826	13,466,995	13,466,995	13,466,995	13,466,995	13,466,995	13,396,799	13,396,799	13,356,495	13,355,418	13,355,418	13,355,418
SieTem- 20x20- TF	31,025,859	31,025,859	31,025,859	31,025,859	31,025,859	31,025,859	31,025,859	31,025,859	31,025,859	31,025,859	31,025,859	31,025,859	31,025,859	30,957,632	30,919,240	30,919,240	30,919,240
SieTem- 5x5- TF	277,155,96	277,155,96	277,155,96	277,155,96	277,154,02	277,077,76	276,887,22	276,850,68	276,695,50	276,362,22	276,161,503	275,597,75	275,048,0	274,714,48	274,062,54	273,667,17	273,072,23

CalMed - California Mediterránea  
 DesAN - Desiertos de América del Norte  
 ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
 SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
 SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas  
 TF- Tierras Forestales

**Cuadro 25.** Incertidumbre de las existencias de Carbono Forestal en Biomasa Subterránea por ecorregión y equidistancia de muestreo

Categoría	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	61	61
CalMed- 20x20- TF	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
CalMed- 5x5- TF	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	43	43	43
DesAN- 10x10- TF	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
DesAN- 20x20- TF	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
DesAN- 5x5- TF	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
ElevSM- 10x10- TF	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
ElevSM- 20x20- TF	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
ElevSM- 5x5- TF	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
GraPla- 10x10- TF	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
GraPla- 20x20- TF	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	81	81	81	81	81	81
GraPla- 5x5- TF	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
SCH- 10x10- TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
SCH- 20x20- TF	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	30	30	30	32
SCH- 5x5- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
SCS- 10x10- TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
SCS- 20x20- TF	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	28	28	28	28
SCS- 5x5- TF	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SieTem- 10x10- TF	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
SieTem- 20x20- TF	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
SieTem- 5x5- TF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

CalMed - California Mediterránea  
 DesAN - Desiertos de América del Norte  
 ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
 SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
 SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas  
 TF- Tierras Forestales

**Cuadro 26.** Existencias del contenido de carbono orgánico en Suelos por ecorregión y equidistancia de muestreo (Ton C/ha)

Categoría	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	38763242	38763242	38763242	38763242	38763242	38763242	38592465	38592465	38592465	38592465	38592465	38592465	38247000	38247000	37879032	37696842	37696842
CalMed- 20x20- TF	8491103	8491103	8491103	8491103	8491103	8491103	8491103	8491103	8491103	8491103	8491103	8491103	8491103	8491103	8491103	8491103	8491103
CalMed- 5x5- TF	4257731	4257731	4257731	4257731	4257731	4257731	4257731	4257731	4257731	4257731	4257731	4257731	4257731	4257731	4176944	4176944	4176944
DesAN- 10x10- TF	126727670	126727670	126727670	126727670	126727670	126727670	126727670	126312193	126312193	126086514	126086514	126007552	126007552	126007552	125855179	125854768	125517842
DesAN- 20x20- TF	39231639	39231639	39231639	39231639	39231639	39231639	39231639	39231639	39231639	39231639	39231639	39231639	39231639	39231639	39231639	39231639	39231639
DesAN- 5x5- TF	20648950	20648950	20648950	20648950	20648950	20648950	20648950	20648950	20648950	20648950	20648950	20648950	20530537	20530537	20479727	20479494	20479294
ElevSM- 10x10- TF	28759873	28759873	28759873	28759873	28759873	28759873	28145496	28145496	28145496	28145496	28145496	27765828	27765828	27765828	27765828	27222079	26934835
ElevSM- 20x20- TF	126721343	126721343	126721343	126721343	126721343	126721343	126721343	126721343	126721343	125511740	125511740	125511740	124597764	124597764	124597764	123807110	123807110
ElevSM- 5x5- TF	58639231	58639231	58639231	58639231	58639231	58639231	58591746	58591746	58591746	58591746	58503252	58503252	58503252	58503252	58336464	58336464	58263952
GraPla- 10x10- TF	141107055	141107055	140844496	140844496	140844496	140629545	140629545	140629545	140292305	140007576	139479904	139479904	139197729	139197729	139197729	138675982	138675982
GraPla- 20x20- TF	47318884	47318884	47318884	46071399	46071399	46071399	46071399	46071399	46071399	46071399	46071399	44338248	44338248	43378672	43378672	43378672	43378672
GraPla- 5x5- TF	5281830	5281830	5281830	5281830	5281830	5281830	5281830	5281830	5281830	5281830	5281830	5281830	5281830	5281830	5281830	5281830	5281830
SCH- 10x10- TF	58497867	58188298	58188298	58188298	57901403	57901403	57901403	57901403	57901403	57746618	57452213	57452213	57452213	57452213	57129841	56520216	55963879
SCH- 20x20- TF	113975847	113343752	111281719	110820871	109953901	109953901	109953901	109953901	108841843	107636568	105495457	105495457	104360095	103309833	102137551	101067650	96972124
SCH- 5x5- TF	526455551	526158124	524801064	523857147	522051117	520253923	517932447	514890084	511661594	507429012	504524426	502365455	499397489	496441941	493086393	490462615	487983834
SCS- 10x10- TF	309085691	308968705	308486097	307041841	306510497	305737652	305434239	305072878	304449708	303848529	302842106	301674616	301342081	300537735	299826503	298824241	298390172
SCS- 20x20- TF	105905165	105905165	105019415	103704693	103704693	103704693	103704693	103704693	102271698	102271698	102271698	101289921	100987379	100033409	97631613	96176744	94792690
SCS- 5x5- TF	106534779	106427114	106220872	106220786	106036679	105879954	105806696	105740147	105411387	105346529	105079014	104601414	104429063	103870578	103733237	103494767	103335490
SieTem- 10x10- TF	82975725	82975725	82975725	82975725	82975725	82426650	82211946	82211946	82211946	82211946	82211946	81765839	81765839	81499439	81306492	81306492	81306492
SieTem- 20x20- TF	149280439	149280439	149280439	149280439	149280439	149280439	149280439	149280439	149280439	149280439	149280439	149280439	149278465	146953567	146951593	146949902	146945954
SieTem- 5x5- TF	863795384	863211596	862579006	862222954	861672627	860261402	859566017	858834342	858002803	856323812	855655814	854208817	852386689	851483686	849402256	848196676	846812733

CalMed - California Mediterránea

DesAN - Desiertos de América del Norte

ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies

SCH - Selvas Cálido-Húmedas

SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas

TF - Tierras Forestales

**Cuadro 27.** Incertidumbre de las existencias del contenido de carbono orgánico en suelos por ecorregión y equidistancia de muestreo

Categoría	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5
CalMed- 20x20- TF	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
CalMed- 5x5- TF	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
DesAN- 10x10- TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
DesAN- 20x20- TF	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
DesAN- 5x5- TF	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
ElevSM- 10x10- TF	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8
ElevSM- 20x20- TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
ElevSM- 5x5- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
GraPla- 10x10- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
GraPla- 20x20- TF	20	20	20	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22
GraPla- 5x5- TF	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SCH- 10x10- TF	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
SCH- 20x20- TF	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16	16	16	17
SCH- 5x5- TF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SCS- 10x10- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SCS- 20x20- TF	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16
SCS- 5x5- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SieTem- 10x10- TF	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SieTem- 20x20- TF	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
SieTem- 5x5- TF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

CalMed - California Mediterránea

DesAN - Desiertos de América del Norte

ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies

SCH - Selvas Cálido-Húmedas

SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas

TF - Tierras Forestales

## 10. EMISIONES POR DEFORESTACIÓN Y DEGRADACIÓN FORESTAL ABSOLUTA

### 10.1. Enfoque de estimación

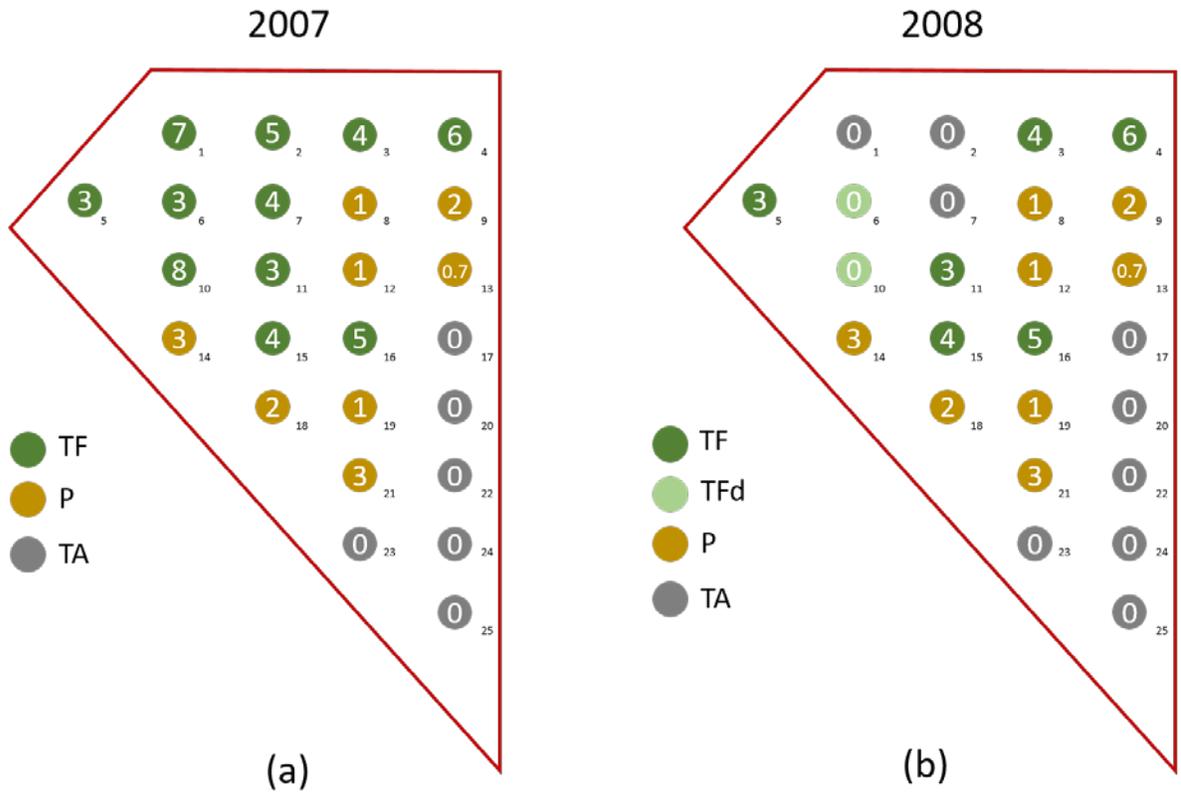
Como se describe en la sección 7, las emisiones de carbono estimadas a nivel nacional se obtuvieron aplicando la ecuación 2.5 de las Directrices del IPCC (2006). En este sentido, la emisión por deforestación bruta se obtiene mediante la diferencia de la existencia de carbono del  $t_2$  y la existencia de carbono en  $t_1$  y se anualiza dividiendo esta diferencia entre la duración del periodo de análisis ( $t_2 - t_1$ ).

Bajo este enfoque se obtuvo la emisión bruta. La emisión por degradación se obtuvo con la variante de que este análisis de diferencia de existencias se implementó solamente sobre el mismo subconjunto de parcelas que entre  $t_1$  y  $t_2$  permanecieron con la misma clase IPCC. La emisión por deforestación se obtuvo a partir de la diferencia entre la emisión bruta y la emisión por degradación. A continuación, se ejemplifica el proceso de estimación de las emisiones y se describen con mayor detalle en la sección 3.5 del **Anexo metodológico**.

#### 10.1.1. Estimación de emisiones totales

Las emisiones totales se refieren a la diferencia bruta anual entre las existencias de carbono en  $t_1$  y  $t_2$  para cada uno de los cuatro reservorios reportados en el presente NREF. Por lo tanto, para obtener estas emisiones se recurrió a las estimaciones de las existencias anuales de carbono de cada reservorio reportadas en la sección anterior y con estos valores se procedió a obtener la diferencia total de existencias de carbono entre cada año. Este proceso se ejemplifica a continuación:

- I. Supongamos que se desea conocer las emisiones totales de carbono para la BA que ocurrieron entre 2007 y 2008 en el área de la Ecorregión 3 con intensidad de muestreo de 5x5 km (ver polígono de contorno rojo de la **Figura 21-a**).
- II. Del ejemplo de la sección anterior, sabemos que, en el año 2007, la existencia total de carbono de Tierras Forestales fue de 1300 ton en la Ecorregión 3, con intensidad de muestreo de 5x5 km (cuya área es de 1000 ha).
- III. Supongamos que, en 2008 en esta área de estudio, tres parcelas se deforestaron (Id's 1, 2 y 7) y dos se degradaron (Id's 6 y 10) como se muestra en la **Figura 28-b**.



**Figura 28.** Diagrama con la representación de los contenidos de carbono de la BA con sus respectivas clases IPCC identificadas a nivel de parcela en 2008 (b) Diagrama con la representación de los contenidos de carbono de la BA con sus respectivas clases IPCC identificadas a nivel de parcela en 2009.

IV. Con base en lo señalado en la sección anterior y lo mostrado en el **Cuadro 28**, se estimó la existencia de carbono en 2008 de acuerdo con lo siguiente:

(i) obtención del contenido promedio de carbono de la clase forestal ( $EC_{TF,2008}$ ) en el área de interés empleando la columna K del **Cuadro 28**:

$$EC_{TF08} = \frac{0 + 0 + 4 + 6 + 3 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 3 + 0 + 0 + 0 + 4 + 5 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0}{25 \times 0.16} = 6.25 \text{ ton/ha}$$

(ii) Estimación de la existencia total de carbono para la clase “Tierra Forestal” en el área de estudio:

$$EC_{TF,2008} = 1000 \text{ h} \times 6.25 \text{ ton/ha} = 6,250 \text{ ton}$$

**Cuadro 28.** información de las parcelas representadas en la **Figura 28-b**

A	2007					2008			
	B	C	D	E	G	H	I	J	K
ID	Clase IPCC	Carbono de la BA (ton)	Área Muestreada (ha)	Carbono de la BA para la clase TF (ton)	Carbono de la BA para la clase de permanencia de TF (ton)	Clase IPCC	Carbono de la BA (ton)	Área Muestreada (ha)	Carbono de la BA para la clase TF (ton)
1	TF	7	0.16	7	NA	TA	0	0.16	0
2	TF	5	0.16	5	NA	TA	0	0.16	0
3	TF	4	0.16	4	4	TF	4	0.16	4
4	TF	6	0.16	6	6	TF	6	0.16	6
5	TF	3	0.16	3	3	TF	3	0.16	3
6	TF	3	0.16	3	3	TFd	0	0.16	0
7	TF	4	0.16	4	NA	TA	0	0.16	0
8	P	1	0.16	0	0	P	1	0.16	0
9	P	2	0.16	0	0	P	2	0.16	0
10	TF	8	0.16	8	8	TFd	0	0.16	0
11	TF	3	0.16	3	3	TF	3	0.16	3
12	P	1	0.16	0	0	P	1	0.16	0
13	P	0.7	0.16	0	0	P	0.7	0.16	0
14	P	3	0.16	0	0	P	3	0.16	0
15	TF	4	0.16	4	4	TF	4	0.16	4
16	TF	5	0.16	5	5	TF	5	0.16	5
17	TA	0	0.16	0	0	TA	0	0.16	0
18	P	2	0.16	0	0	P	2	0.16	0
19	P	1	0.16	0	0	P	1	0.16	0
20	TA	0	0.16	0	0	TA	0	0.16	0
21	P	3	0.16	0	0	P	3	0.16	0
22	TA	0	0.16	0	0	A	0	0.16	0
23	TA	0	0.16	0	0	A	0	0.16	0
24	TA	0	0.16	0	0	A	0	0.16	0
25	TA	0	0.16	0	0	A	0	0.16	0

- V. Una vez conocida la existencia de carbono para la BA en 2007 y 2008, para el área de estudio, se obtuvo la emisión bruta del carbono de la BA como sigue:

$$Emision\ Bruta_{2008-2009} = 13,000\ ton - 6,250\ ton = 6,750\ ton\ C$$

El procedimiento mostrado en el ejemplo anterior fue implementado a nivel de cada una de las ecorregiones-intensidad de muestreo para obtener las emisiones totales entre años y, posteriormente, para estimar la emisión a nivel nacional se procedió a sumar las emisiones parciales de estas subcategorías. Además, este proceso se replicó para cada uno de los cuatro reservorios reportados para el presente NREF.

### 10.1.2. Estimación de emisiones por Degradación

De acuerdo con el enfoque empleado, las emisiones por degradación absoluta son un subconjunto de las emisiones totales que corresponde a la diferencia de las existencias en el subconjunto de parcelas que entre  $t_1$  y  $t_2$  permanecieron como Tierra Forestal. Por lo tanto, una vez estimado la existencia de carbono en  $t_2$ , se procedió a recalcular la existencia de carbono en  $t_1$  sobre el subconjunto de parcelas que permanecieron como tierra forestal entre  $t_1$  y  $t_2$ . Bajo esta consideración, la emisión por degradación absoluta correspondió a las variaciones en las existencias de carbono asociadas a

una pérdida en los contenidos de carbono para aquellas parcelas que se degradaron. Este proceso se ejemplifica a continuación:

- I. Supongamos que deseamos conocer las emisiones por degradación entre 2007 y 2008 para el área de estudio definida en la Figura 28.
- II. Del ejemplo anterior sabemos que la existencia de carbono de las Tierras Forestales para la BA en 2008 fue de 6,250 t, lo cual se estimó con base en la información de las parcelas 3, 4, 5, 6, 10, 11, 15 y 16 que en 2008 pertenecieron a la clase de "Tierra Forestal" (ver la Figura 28-b)
- III. Por lo tanto, se estimó la existencia de carbono en 2007 para el subconjunto de parcelas que entre 2007 y 2008 permanecieron como Tierra Forestal. Esto se realizó empleando la información de la columna G del Cuadro 28 y se obtuvo de acuerdo con lo siguiente:

(i) obtención del contenido promedio de carbono de la clase forestal ( $EC_{TF,2007}$ ) en el área de interés:

$$EC_{TF} = \frac{NA + NA + 4 + 6 + 3 + 3 + NA + 0 + 0 + 8 + 3 + 0 + 0 + 0 + 4 + 5 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0}{25 \times 0.16} = 9 \text{ ton C/ha}$$

(ii) Estimación de la existencia total de carbono para la clase "Tierra Forestal" en el área de estudio:

$$EC_{TF,2007} = 1000 \text{ ha} \times 9 \text{ ton/ha} = 9,000 \text{ ton}$$

- IV. Estimación de las emisiones por degradación absoluta para el periodo 2007-2008 de acuerdo con lo siguiente:

$$Emision\ Deg_{2007-2008} = 13,000 \text{ ton} - 9,000 \text{ ton} = 4,000 \text{ ton}$$

El procedimiento mostrado en el ejemplo anterior fue implementado a nivel de cada una de las ecorregiones-intensidad de muestreo para obtener las emisiones por degradación entre años y, posteriormente, para estimar la emisión por degradación a nivel nacional se procedió a sumar las emisiones parciales de estas subcategorías. Este proceso se replicó para cada uno de los cuatro reservorios reportados para el presente NREF.

### 10.1.3. Estimación de emisiones por Deforestación

Las emisiones por deforestación resultaron de restar a las emisiones brutas (a nivel nacional) las emisiones por degradación (a nivel nacional).

Siguiendo los ejemplos anteriores, la emisión por deforestación se obtuvo de acuerdo con lo siguiente:

$$Emision\ Defo_{2007-2008} = Emision\ Bruta_{2007-2008} - Emision\ Deg_{2007-2008}$$

$$Emision\ Defo_{2007-2008} = 6,750 \text{ ton} - 4,000 \text{ ton} = 2,750 \text{ ton}$$

La estimación de las emisiones por deforestación se realizó sólo a nivel nacional con las estimaciones de la deforestación bruta y por degradación absoluta obtenida a nivel nacional. Este proceso se implementó para cada uno de los cuatro reservorios reportados en el periodo de análisis 2000-2016.

Cabe mencionar que todo este proceso de estimación de emisiones brutas, por degradación y deforestación se describe detalladamente en el Capítulo III del Anexo Metodológico.

## 10.2. Resultados

### 10.2.1. Emisiones brutas de las Tierras Forestales

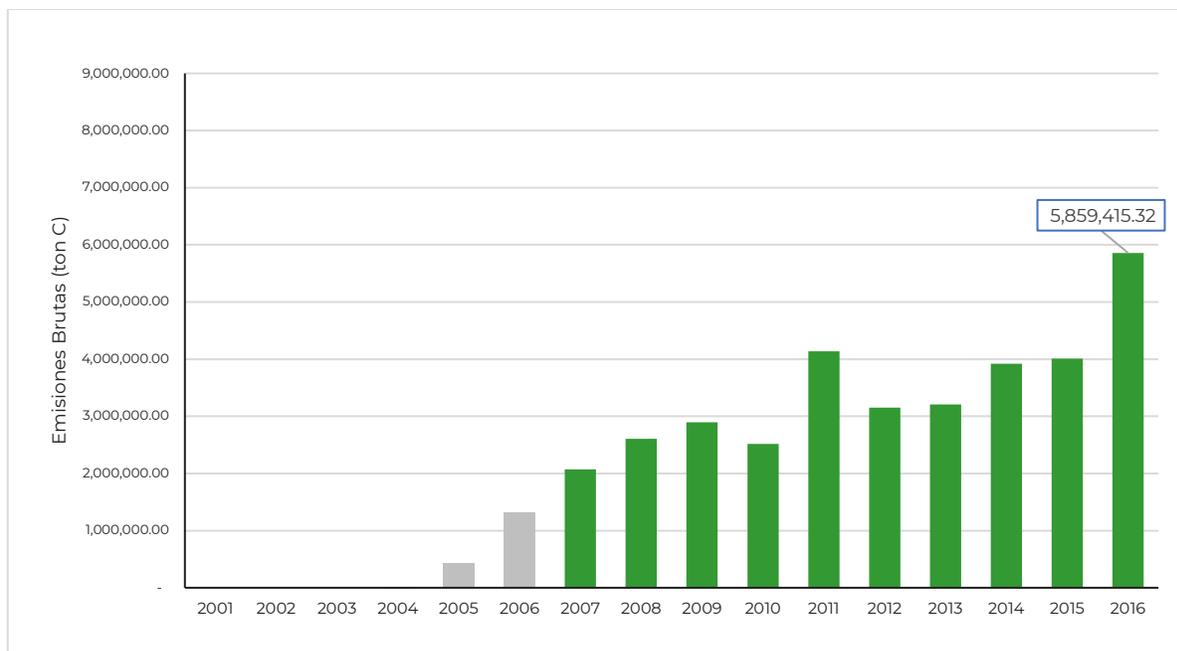
El **Cuadro 29** resume las existencias de Carbono a nivel nacional de los 4 reservorios incluidos en el NREF. Para el caso de los reservorios de BA, BS y MM, los valores se refieren a las TF, mientras que, para el caso del COS, las existencias se refieren a las 6 clases IPCC como se describe en la sección 10.1.

Las emisiones brutas provenientes de las Tierras Forestales de México, para cada reservorio, se calcularon mediante la diferencia de existencias de Carbono en cada depósito, comparando dos años consecutivos. Los resultados se muestran en el **Cuadro 30** y en las siguientes gráficas.

Las emisiones brutas de la biomasa aérea de las Tierras Forestales de México se muestran en **Figura 29**. Estas emisiones presentan una tendencia creciente con un valor máximo en 2016 que asciende a 5,859,415.32 ton C.

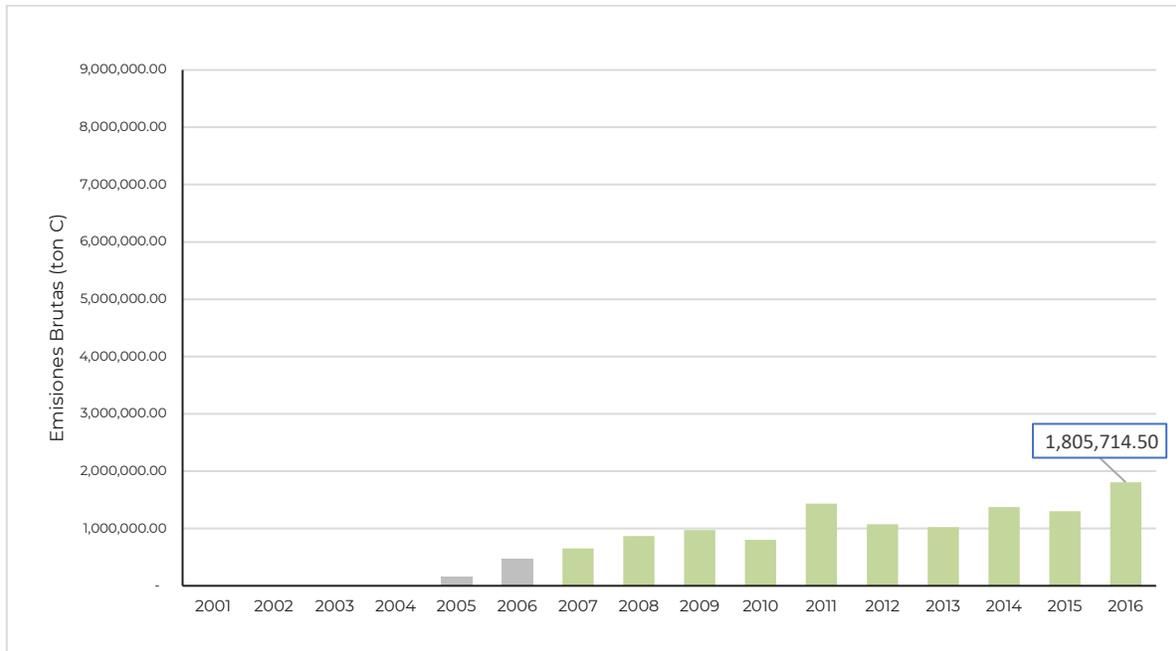
Es importante mencionar que para el periodo 2001-2004 los valores son nulos ya que, aunque existieron procesos de perturbaciones en ese periodo (deforestación y degradación forestal), con el enfoque metodológico usado en este NREF no fue posible adjudicar un valor de contenido de Carbono a las parcelas clasificadas como Tierras Forestales y que pasaron a TNF durante ese periodo (ver Anexo metodológico).

Como el 1er Ciclo del INFyS obtuvo una muestra suficiente hasta el año 2006, el enfoque de “diferencia de existencias” es sesgado a partir del año 2007 (restando las existencias de 2006) hasta 2016 (restando las existencias de 2015). Por esta razón, los valores de emisiones brutas de 2001 a 2006 se consideran no adecuados.



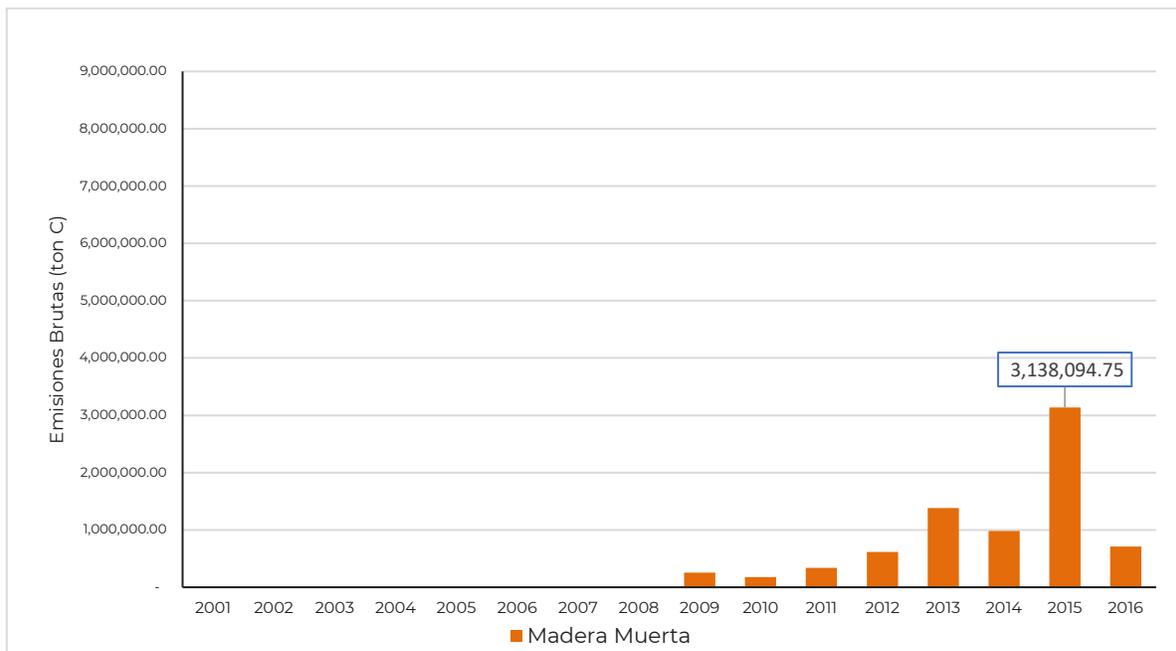
**Figura 29** Emisiones brutas de la biomasa aérea de las Tierras Forestales de México (2001-2016)

En la **Figura 30** se muestran las emisiones brutas de la biomasa subterránea de las Tierras Forestales de México. Por la razón arriba explicada, las emisiones en el periodo 2001-2006 están sesgadas. La tendencia de las barras verdes, que corresponde a los valores adecuados de emisiones, es creciente, con un valor máximo en 2016 de 1,805,714.50 ton C.



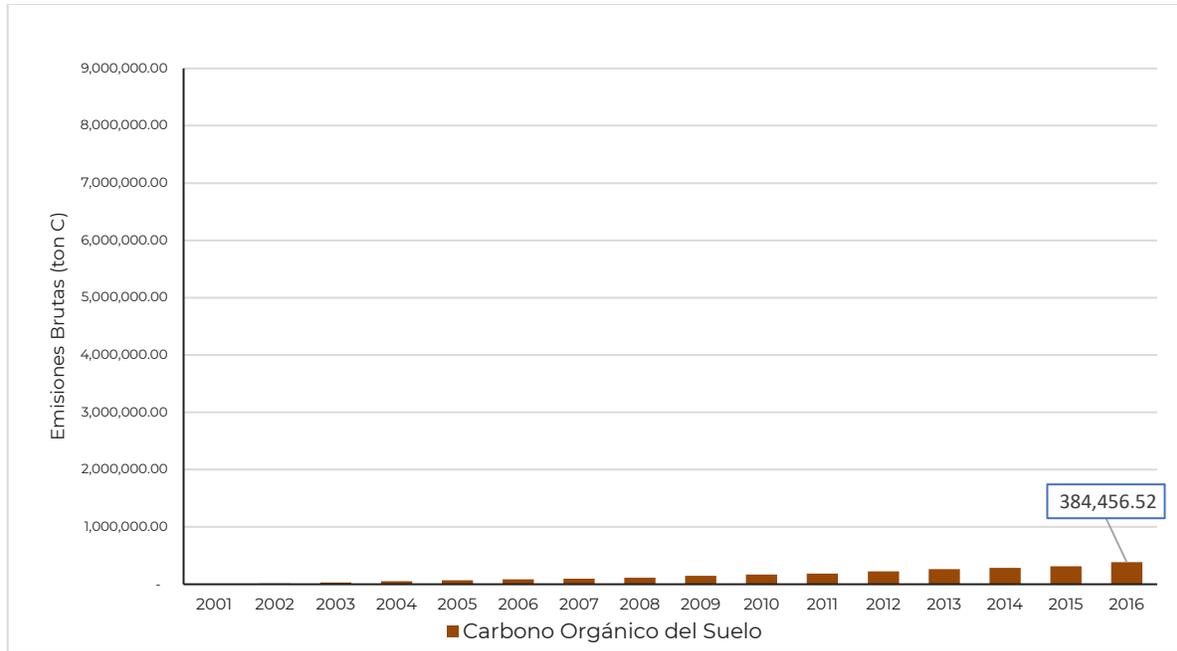
**Figura 30.** Emisiones brutas de la biomasa subterránea de las Tierras Forestales de México (2001-2016)

Las emisiones brutas de la madera muerta se presentan en la **Figura 31**. La tendencia de estas emisiones es más irregular y presenta variaciones en el periodo 2009-2016, con un valor máximo de 3,138,094.75 ton C en 2015. A diferencia de los dos reservorios anteriores, sólo fue posible calcular las emisiones de la madera muerta a partir de 2009, ya que fue en el 2º ciclo del INFyS en que se inició la colecta de datos de las variables de este reservorio



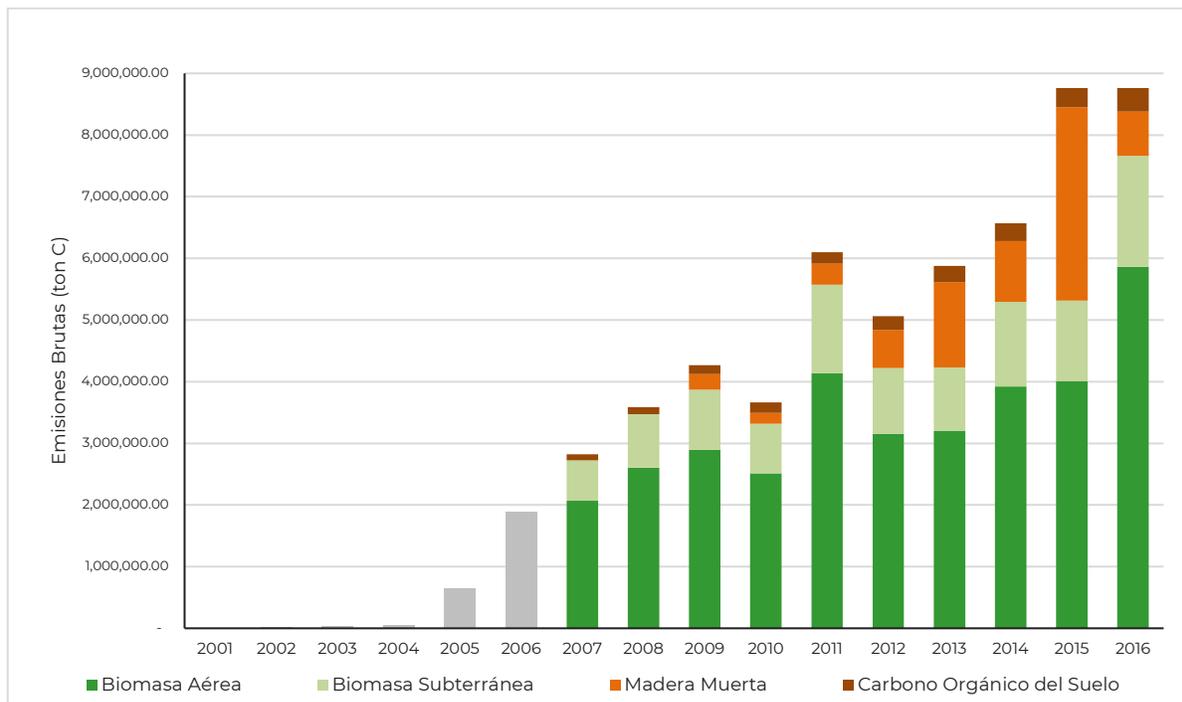
**Figura 31.** Emisiones brutas de la madera muerta de las Tierras Forestales de México (2001-2016)

Para el caso de las emisiones brutas de COS, sí fue posible determinar las emisiones para el periodo 2001-2016, debido a que el insumo principal cuenta con una serie histórica completa. La tendencia de estas emisiones tiene un orden de magnitud menor al de los otros reservorios, pero también muestra una tendencia creciente, con un valor máximo de 384,456.52 ton C en 2016 (**Figura 32**).



**Figura 32.** Emisiones brutas de COS de las Tierras Forestales de México (2001-2016)

Las emisiones brutas totales de las Tierras Forestales de México se obtuvieron de la suma de las emisiones brutas por cada reservorio y se muestran en la **Figura 33**.



**Figura 33.** Emisiones brutas de Carbono de las Tierras Forestales de México (2001-2016)

**Cuadro 29.** Existencias de Carbono a nivel nacional de los 4 reservorios incluidos en el NREF

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
BA	Existencias de C en TF (ton)	1,634,792,272	1,634,792,272	1,634,792,272	1,634,792,272	1,634,788,038	1,634,365,731	1,633,043,771	1,630,973,660	1,628,368,249
	Incertidumbres (%)	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.78	1.78
BS	Existencias de C en TF (ton)	568,618,222	568,618,222	568,618,222	568,618,222	568,616,275	568,456,818	567,982,443	567,327,958	566,459,309
	Incertidumbres (%)	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.67	1.67
MM	Existencias de C en TF (ton)	208,478,532	208,478,532	208,478,532	208,478,532	208,478,532	208,478,532	208,478,532	208,478,532	208,478,532
	Incertidumbres (%)	3.55	3.55	3.55	3.55	3.55	3.55	3.55	3.55	3.55
Suelos	Existencias de COS en las 6 categorías IPCC (ton)	5,365,805,703	5,365,801,370	5,365,786,273	5,365,758,126	5,365,705,865	5,365,635,205	5,365,549,975	5,365,452,641	5,365,339,202
	Incertidumbres (%)	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.30	1.30	1.30	1.30

**Cuadro 29 (Continuación).** Existencias de Carbono a nivel nacional de los 4 reservorios incluidos en el NREF

		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
BA	Existencias de C en TF (ton)	1,625,472,643	1,622,958,010	1,618,820,125	1,615,669,684	1,612,463,856	1,608,544,334	1,604,534,691	1,598,675,276
	Incertidumbres (%)	1.78	1.78	1.79	1.79	1.79	1.80	1.80	1.80
BS	Existencias de C en TF (ton)	565,486,941	564,682,607	563,249,359	562,176,977	561,150,686	559,775,110	558,471,362	556,665,647
	Incertidumbres (%)	1.67	1.67	1.68	1.68	1.68	1.68	1.69	1.69
MM	Existencias de C en TF (ton)	208,225,250	208,048,621	207,708,635	207,092,416	205,708,999	204,724,744	201,586,649	200,873,994
	Incertidumbres (%)	3.56	3.56	3.56	3.57	3.53	3.55	2.60	2.61
Suelos	Existencias de COS en las 6 categorías IPCC (ton)	5,365,192,369	5,365,025,013	5,364,838,748	5,364,615,464	5,364,353,752	5,364,066,518	5,363,753,607	5,363,369,151
	Incertidumbres (%)	1.30	1.30	1.30	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31

**Cuadro 30.** Emisiones brutas provenientes de las Tierras Forestales de México por reservorio para el periodo 2000-2016 (ton C)

Reservorio	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
BA	-	-	-	-	8,262.40	422,307.44	1,321,959.70	2,070,111.38	2,605,410.95
BS	-	-	-	-	1,947.52	159,456.36	474,375.42	654,484.51	868,649.17
MM	-	-	-	-	-	-	-	-	-
COS	-	4,333.63	15,096.36	28,147.23	52,261.14	70,660.12	85,230.27	97,333.25	113,439.72
<b>Total</b>	<b>-</b>	<b>4,333.63</b>	<b>15,096.36</b>	<b>40,643.37</b>	<b>45,946.26</b>	<b>652,423.91</b>	<b>1,881,565.39</b>	<b>2,821,929.15</b>	<b>3,587,499.84</b>

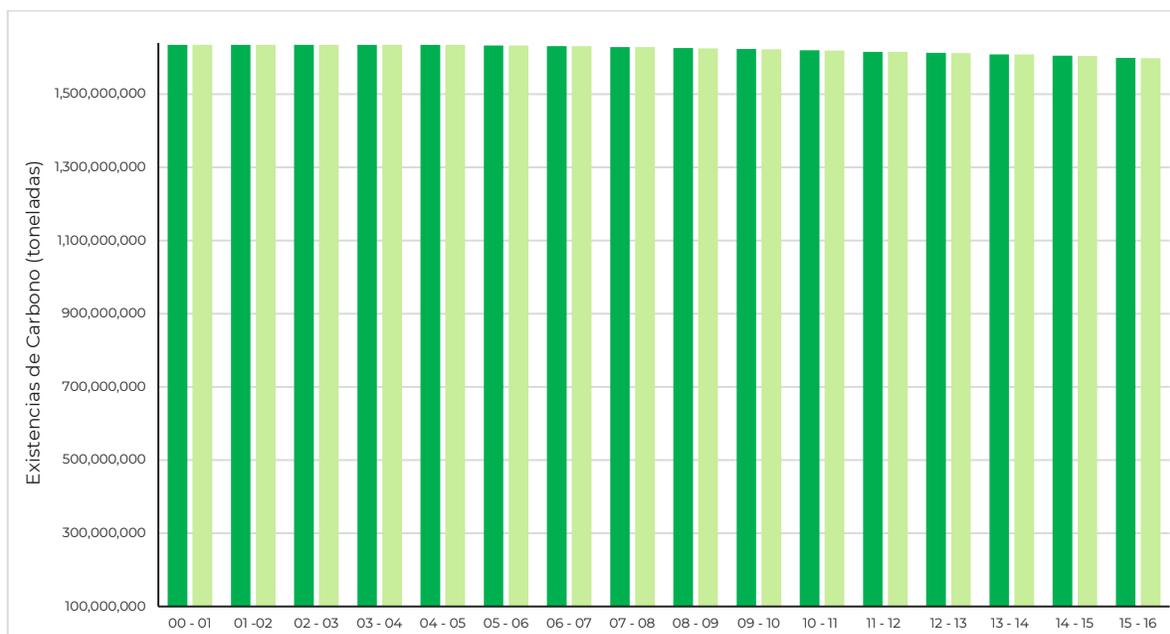
**Cuadro 30 (continuación).** Emisiones brutas provenientes de las Tierras Forestales de México por reservorio para el periodo 2000-2016 (ton C)

Reservorio	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
BA	2,895,605.83	2,514,633.01	4,137,884.71	3,150,440.74	3,205,828.64	3,919,521.31	4,009,643.16	5,859,415.32
BS	972,368.69	804,333.65	1,433,247.92	1,072,382.49	1,026,290.67	1,375,576.12	1,303,747.89	1,805,714.50
MM	253,282.66	176,628.58	339,985.86	616,219.12	1,383,417.65	984,254.65	3,138,094.75	712,655.50
COS	146,832.65	167,355.66	186,265.32	223,284.07	261,711.72	287,233.77	312,911.13	384,456.52
<b>Total</b>	<b>4,268,089.83</b>	<b>3,662,950.91</b>	<b>6,097,383.81</b>	<b>5,062,326.41</b>	<b>5,877,248.68</b>	<b>6,566,585.85</b>	<b>8,764,396.94</b>	<b>8,762,241.84</b>

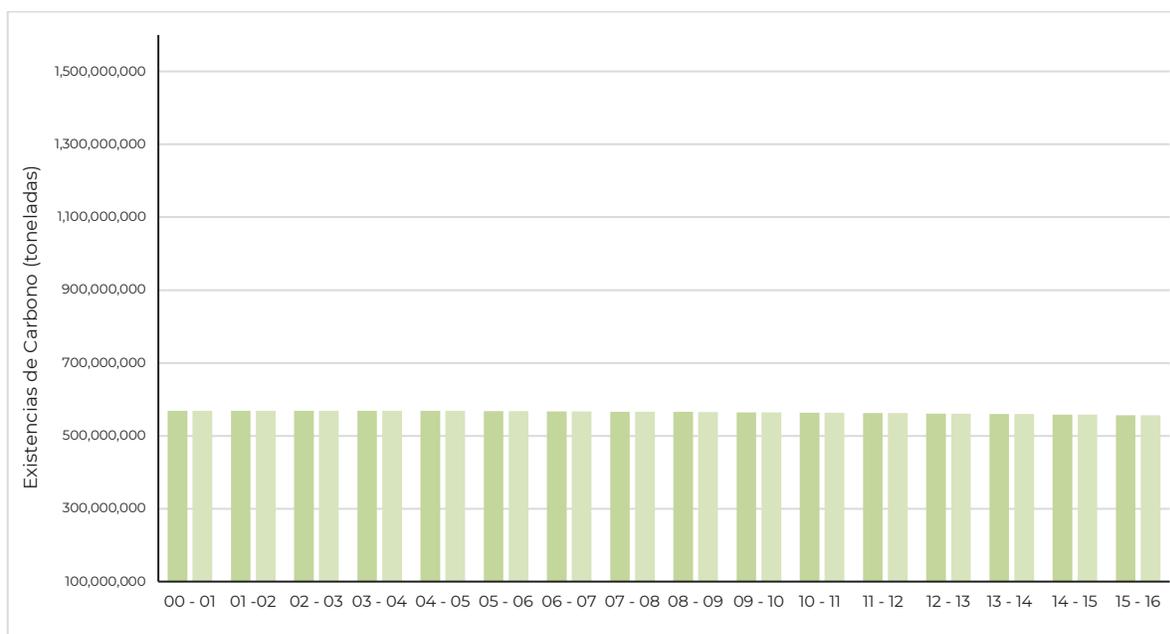
Para desagregar las emisiones brutas de las Tierras Forestales de México, en emisiones por deforestación bruta y emisiones por degradación forestal absoluta, primero se procedió a calcular las emisiones por degradación forestal absoluta.

### 10.2.2. Emisiones por degradación forestal absoluta

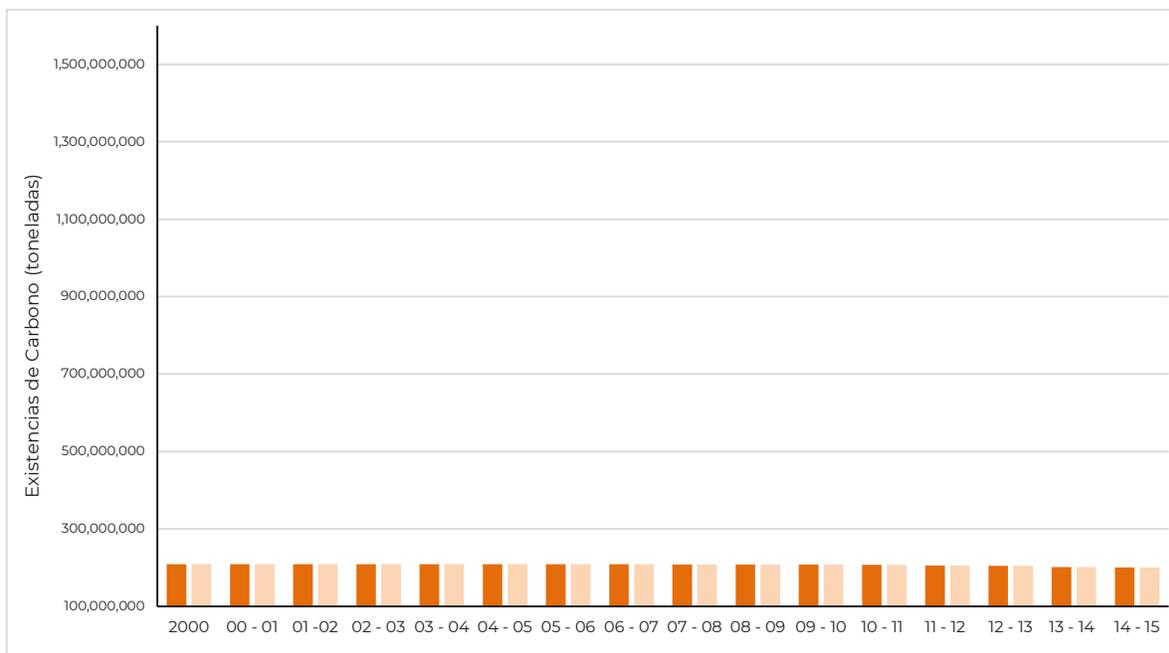
Las **Figuras 34 a 37** muestran las existencias de Carbono en las Tierras Forestales que permanecieron como Tierras Forestales entre el tiempo 1 y el tiempo 2, por cada uno de los cuatro reservorios. Una disminución en las existencias de Carbono entre el  $t_1$  y  $t_2$  implica una degradación forestal absoluta.



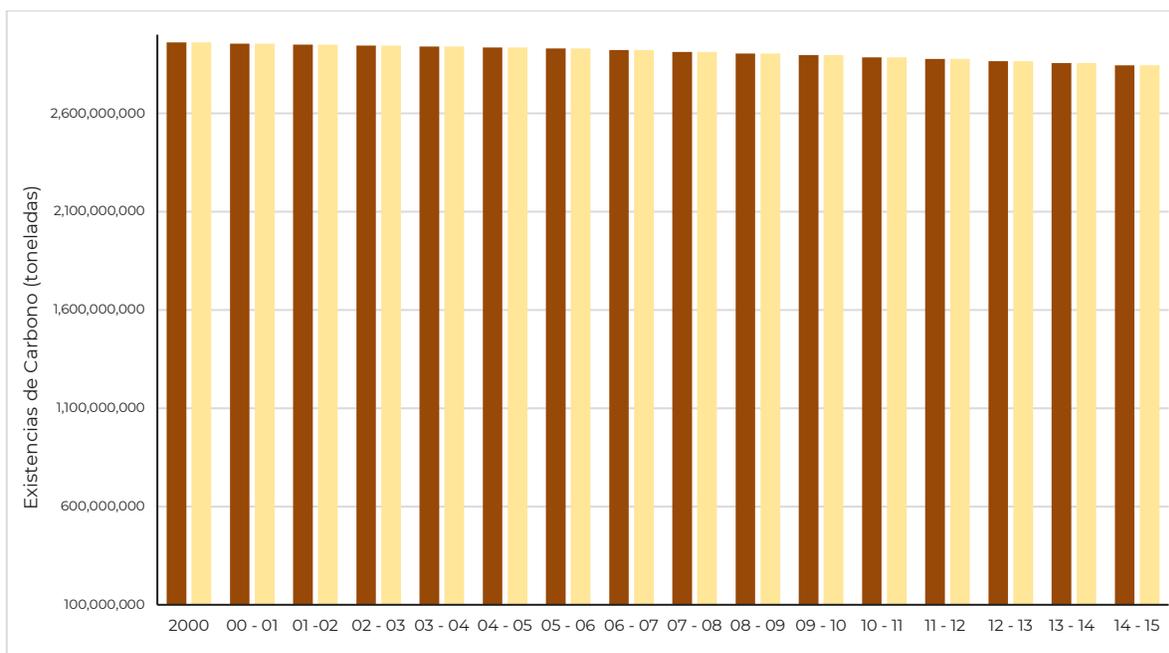
**Figura 34.** Existencias de Carbono en biomasa aérea en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016



**Figura 35.** Existencias de Carbono en biomasa subterránea en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016

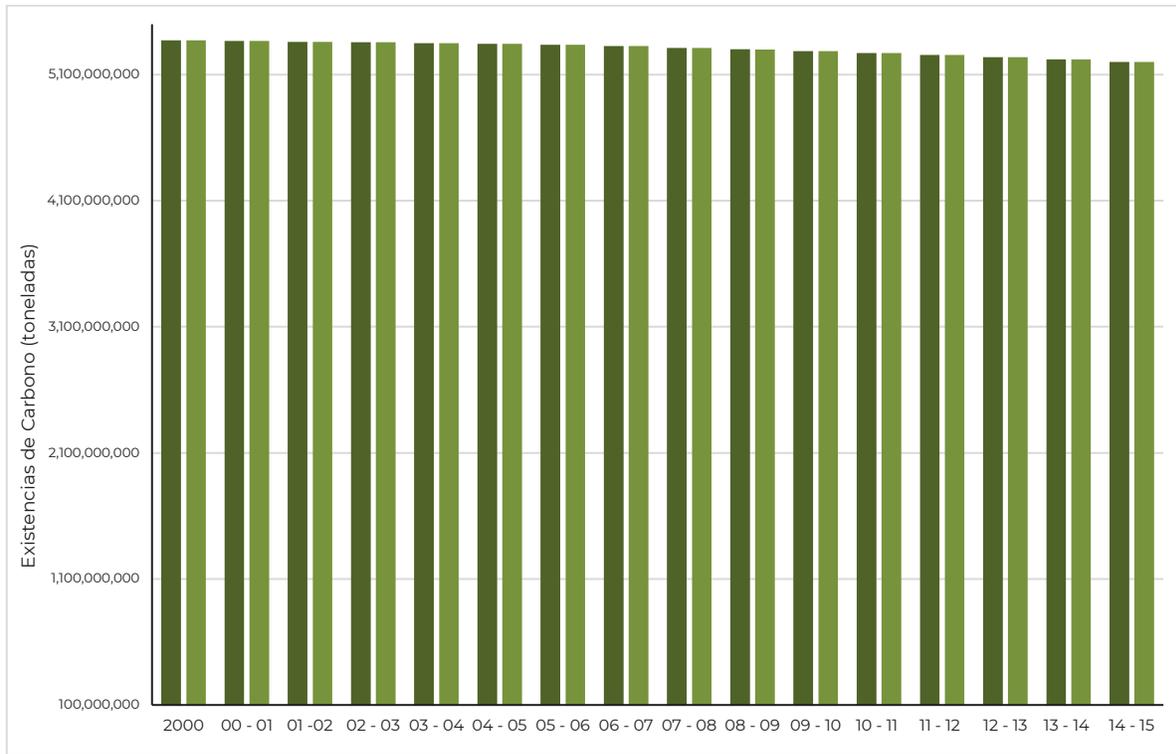


**Figura 36.** Existencias de Carbono en madera muerta en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016

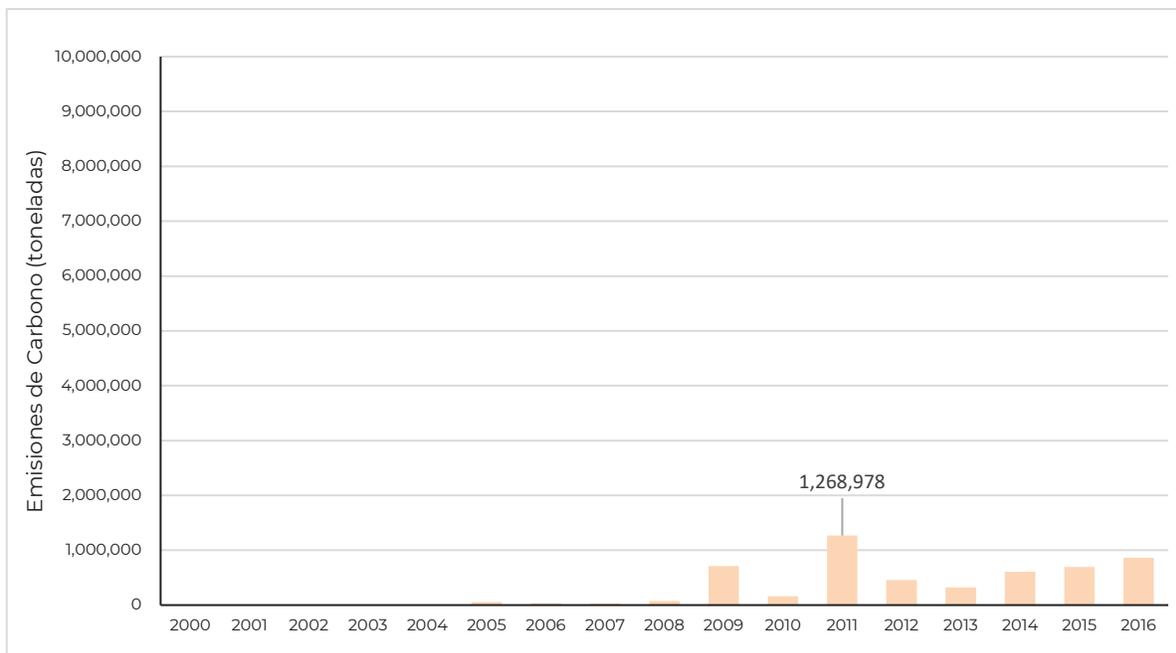


**Figura 37.** Existencias de Carbono Orgánico de Suelos en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016

La **Figura 38** muestra las existencias totales de Carbono (de los 4 reservorios sumados) en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 – 2016. Con la diferencia de estas existencias se generaron las emisiones de Carbono correspondientes a la degradación forestal absoluta (**Figura 39**). Las emisiones máximas por degradación forestal absoluta (1,268,978 ton C) ocurrieron en 2011.



**Figura 38.** Existencias de Carbono total en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016



**Figura 39.** Emisiones totales de Carbono por degradación forestal absoluta en el periodo 2001-2016

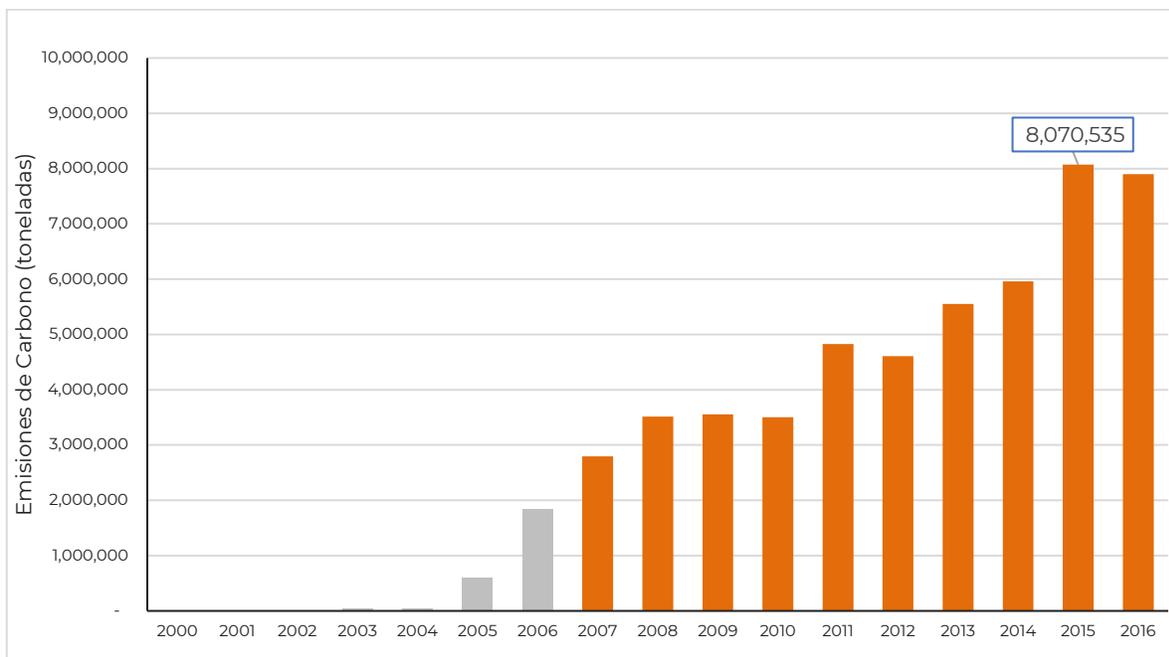
### 10.2.3. Emisiones por deforestación bruta

Finalmente, para estimar las emisiones de Carbono provenientes de la deforestación bruta, las emisiones totales por degradación forestal absoluta fueron sustraídas de las emisiones totales de las Tierras Forestales (**Cuadro 31**).

**Cuadro 31.** Emisiones brutas de Tierras Forestales, de degradación forestal absoluta y de deforestación bruta en el periodo 2001-2016

Años	Emisiones brutas de TF (ton C)	Emisiones por degradación forestal absoluta (ton C)	Emisiones por deforestación bruta (ton C)
2001	4,334	1,173	3,160
2002	15,096	2,358	12,738
2003	40,643	3,004	37,639
2004	45,946	4,320	41,626
2005	652,424	54,139	598,285
2006	1,881,565	36,091	1,845,475
2007	2,821,929	26,745	2,795,184
2008	3,587,500	74,268	3,513,231
2009	4,268,090	710,508	3,557,582
2010	3,662,951	162,015	3,500,936
2011	6,097,384	1,268,978	4,828,406
2012	5,062,326	454,397	4,607,929
2013	5,877,249	325,312	5,551,937
2014	6,566,586	605,158	5,961,428
2015	8,764,397	693,862	8,070,535
2016	8,762,242	863,211	7,899,031

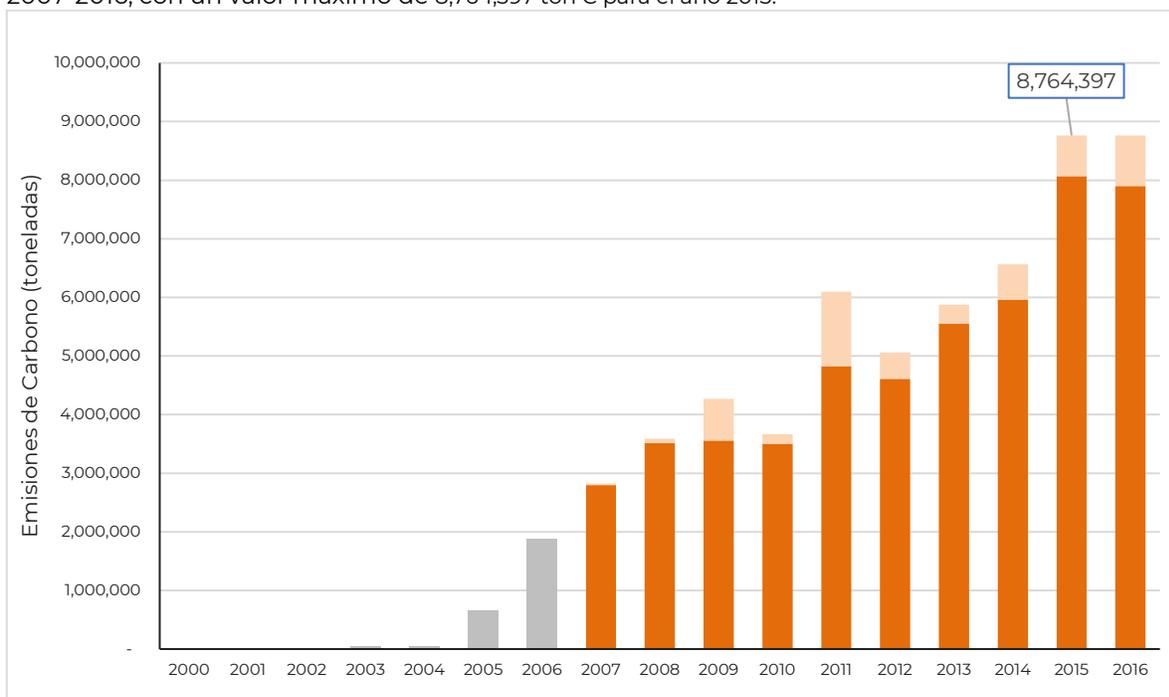
En la **Figura 40** se presentan las emisiones de Carbono por deforestación bruta en el periodo 2001-2016. Por la falta de disponibilidad de datos en el periodo 2001-2006, las emisiones en este rango no son representativas, como se ha explicado arriba. El valor máximo (8,070,535 ton C) ocurrió en el año 2015.



**Figura 40.** Emisiones de Carbono por deforestación bruta en el periodo 2000-2016

#### 10.2.4. Emisiones de Carbono por deforestación bruta y degradación forestal absoluta

En la **Figura 41** se presentan las emisiones totales de Carbono derivadas de la deforestación bruta y de la degradación forestal absoluta. La tendencia de estas emisiones es creciente para el periodo 2007-2016, con un valor máximo de 8,764,397 ton C para el año 2015.



**Figura 41.** Emisiones de Carbono por deforestación bruta y degradación forestal absoluta (periodo 2000-2016)

## 11. NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES

### 11.1. Ajuste por circunstancias nacionales

El presente NREF está basado únicamente en datos históricos y no se aplicó ningún ajuste por circunstancias nacionales acerca de cambios futuros en las políticas nacionales.

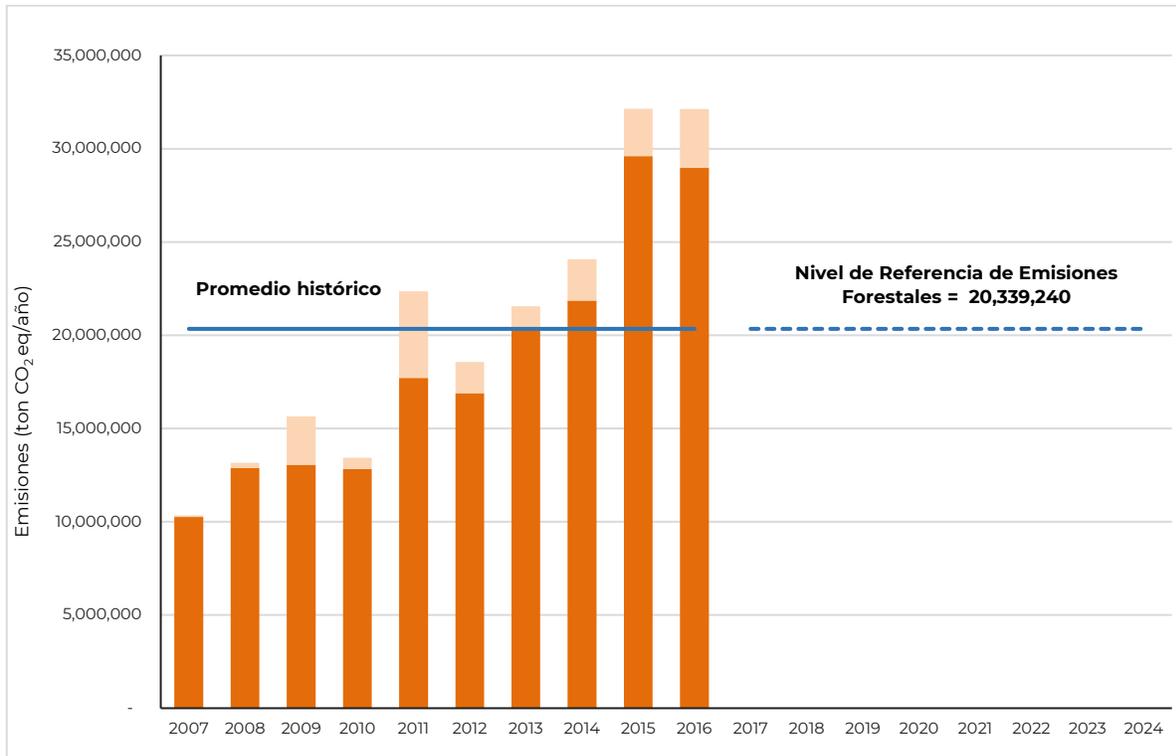
### 11.2. Nivel de Referencia de Emisiones Forestales 2007-2016

Tomando como base los resultados mostrados en la sección anterior, en el cuadro XX se muestran las emisiones anuales (para el periodo 2007-2016) de CO<sub>2</sub>eq derivadas de la degradación forestal absoluta, la deforestación y la suma de ambas. El NREF de México consiste en un promedio histórico de estas emisiones en dicho periodo. En el **Cuadro 32** también se incluyen las incertidumbres asociadas a las estimaciones de emisiones.

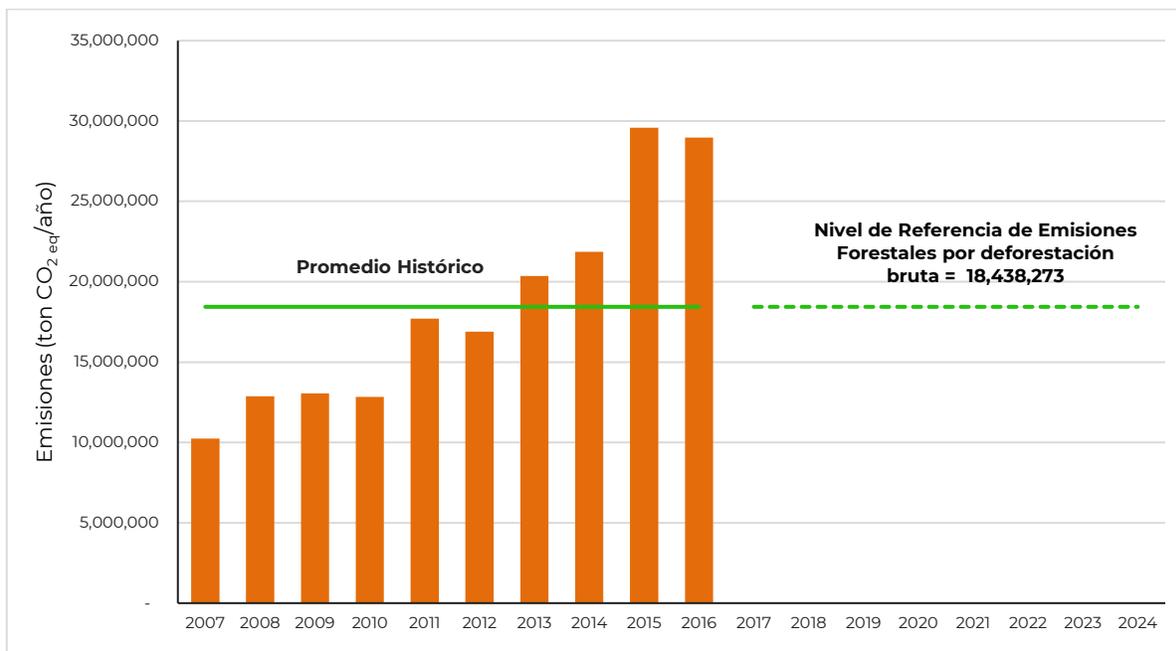
**Cuadro 32.** Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México (2007-2016)

Año	Emisiones por degradación forestal absoluta (ton CO <sub>2</sub> eq/año)	Emisiones por deforestación bruta (ton CO <sub>2</sub> eq/año)	Emisiones por deforestación bruta y degradación forestal absoluta (ton CO <sub>2</sub> eq/año)	Incertidumbre (%)
2007	98,065	10,249,009	10,347,074	1,527
2008	272,318	12,881,848	13,154,166	1,201
2009	2,605,195	13,044,468	15,649,663	1,039
2010	594,056	12,836,764	13,430,820	1,210
2011	4,652,918	17,704,156	22,357,074	727
2012	1,666,124	16,895,740	18,561,864	875
2013	1,192,811	20,357,101	21,549,912	753
2014	2,218,912	21,858,570	24,077,481	673
2015	2,544,161	29,591,961	32,136,122	501
2016	3,165,106	28,963,114	32,128,220	497
NREF (promedio histórico 2007 – 2016)	1,900,966	18,438,273	20,339,240	250

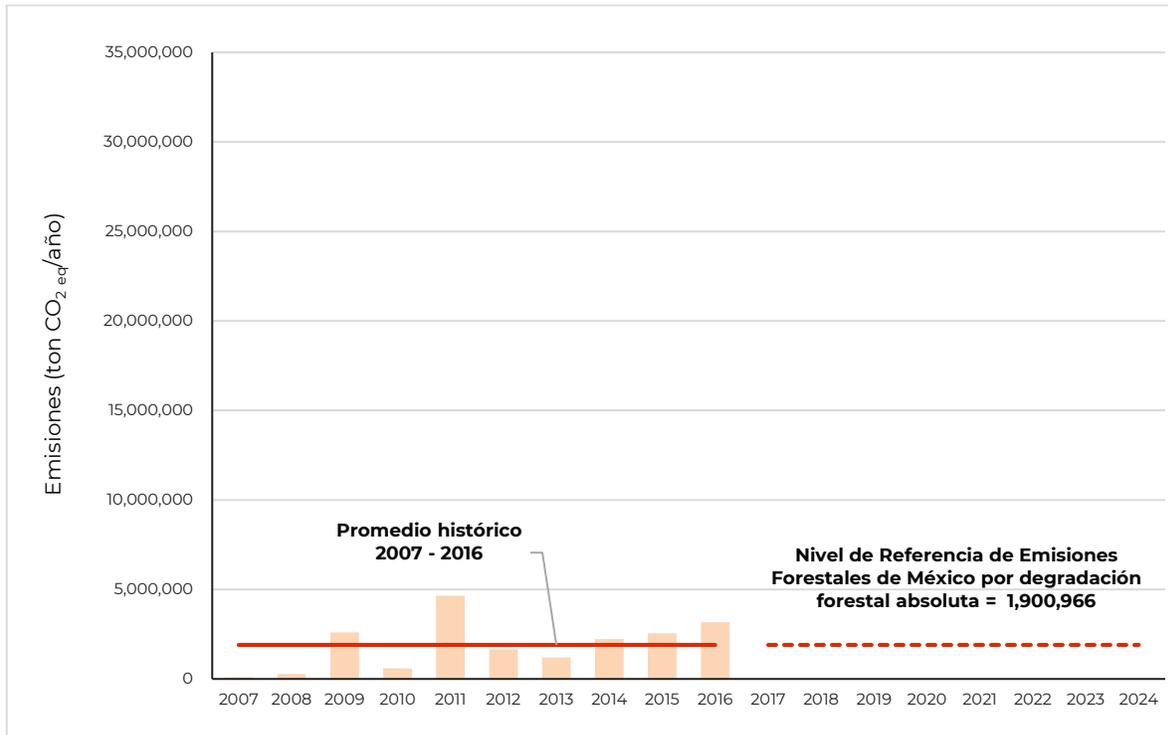
El NREF de México por deforestación bruta y degradación forestal absoluta (ambas actividades definidas en el capítulo 5) asciende a 20,339,240 ton CO<sub>2</sub>eq/año (**Figura 42**).



**Figura 42.** Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México (2007-2016), por deforestación bruta y degradación forestal absoluta



**Figura 43.** Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México (2007-2016), por deforestación bruta



**Figura 44.** Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México (2007-2016), por degradación forestal absoluta

### 11.3. Análisis de incertidumbre

Las emisiones brutas se obtuvieron a partir de la diferencia anual de las existencias de carbono para cada reservorio. A su vez, estas existencias se obtuvieron bajo un enfoque de estimación de valores totales basados en una muestra, para los cuales están estimadas sus incertidumbres basadas en el error de muestreo. Por lo anterior, las estimaciones de las existencias de carbono de cada reservorio cuentan con sus respectivas incertidumbres cuyos valores oscilan entre 1% y 2%. Estos valores se consideran bajos, toda vez que fueron generados con tamaños de muestra grandes que correspondieron al número total de Unidades de Muestreo Primarias del INFyS, sin vacíos de información.

Para el caso de las emisiones brutas por cada reservorio, dado que estos valores se generaron mediante la resta de existencias, la propagación de incertidumbres se realizó a través de la combinación de incertidumbres de la resta (ecuación 3.2 IPCC, 2006) y asumiendo independencia de las variables. Por ello, un área de mejora consiste en restar la covarianza de las existencias de la varianza de las emisiones, toda vez que están correlacionadas.

Las incertidumbres de las emisiones, obtenidas bajo este enfoque, fueron altas. Esto se debió a que, si bien las existencias de los reservorios representan valores muy altos con incertidumbres muy pequeñas, la diferencia de dichas existencias son valores muy pequeños, que en la mayor parte de los casos representan una variación de menos del 0.3 %. Esta variación es menor que las variaciones porcentuales de los intervalos de confianza de las existencias.

Las emisiones brutas totales se obtuvieron sumando las emisiones de los cuatro reservorios, por lo que sus incertidumbres se obtuvieron propagándolas por la suma, empleando el método analítico del IPCC (2006). Además, la incertidumbre del promedio de emisiones brutas para el NREF, se obtuvo

propagando las incertidumbres por la suma, toda vez que el promedio es la suma de las emisiones dividida entre una constante (amplitud del periodo de referencia).

Cabe mencionar que las incertidumbres de las emisiones brutas presentadas en este documento son mayores que las indicadas en otros reportes similares, debido a que en este NREF se hace un uso más directo de la información y a que no se utilizaron aproximaciones de escala nacional (con baja incertidumbre) pero con alto sesgo para caracterizar procesos locales. Bajo esta consideración, la estimación del presente NREF fue obtenida bajo un enfoque que utiliza de manera más adecuada los insumos disponibles en el país, lo que aumenta considerablemente su exactitud, pero también aumenta la incertidumbre.

En este contexto, se identifican algunas áreas de mejora futura para disminuir las incertidumbres. Estas áreas de mejora van orientadas a consolidar el enfoque de diferencia de existencias a través de la mejora de insumos y revisión de algunos supuestos en los procesos de estimación.

## **12. ÁREAS DE MEJORA Y FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES**

### **13.1. Áreas de Mejora**

El desarrollo de reportes de GEI ha permitido conocer y utilizar la información disponible en el país de una manera más adecuada. Además, las necesidades de mejorar estos reportes en el sector forestal han motivado a que el país genere información crucial que contribuya a un monitoreo forestal eficiente de los bosques en México. En particular, como parte del presente NREF se ha avanzado de manera importante en la generación de nuevos insumos y en la implementación de métodos más adecuados. Como parte de este proceso de mejora continua, se tienen identificadas las siguientes áreas de mejora:

- Mejorar la colecta y gestión de la información capturada a través de la interpretación visual de imágenes satelitales en puntos de muestreo empleando la herramienta Collect Earth.
- Mejorar la detección y cuantificación de la degradación y recuperación a través de la fotointerpretación empleando imágenes de mayor resolución.
- Incrementar la precisión de la estimación de las áreas deforestadas con la combinación de los productos cartográficos generados con el software MAD-Mex en el marco de sistema SAMOF y de la información de muestreo.
- Incluir las tasas de incremento y pérdidas de carbono en los CGL del INFyS para los reservorios de BA, BS y MM
- Incluir el reservorio de mantillo y mejorar las estimaciones del COS
- Actualizar las estimaciones de BA, BS y MM con base en insumos más recientes y más robustos.
- Contabilizar y propagar otras fuentes de incertidumbres como los provenientes de los errores de medición y modelos.
- Realizar ajustes en los procedimientos de colecta de información de campo del INFyS orientada a la estimación de carbono en sus 5 reservorios
- Mejorar el enfoque de estimación de incertidumbres de las emisiones obtenidas bajo el enfoque de diferencia de existencias
- Aumentar la automatización y sistematización de la compilación de emisiones, controles de calidad y elaboración de productos intermedios

- Incluir el reporte de otras actividades REDD como conservación, incrementos y manejo; además de incorporar al reporte otros gases no CO2
- Avanzar en la implementación del Perfeccionamiento de las Directrices 2019
- Impulsar la divulgación de los materiales y resultados sobre cuantificación de GEI en el sector forestal en tres niveles: público en general, tomadores de decisiones y público especializado

### **13.1. Fortaleciendo de capacidades**

Durante el proceso de desarrollo del NREF se identificó la necesidad de fortalecer las capacidades en las tecnologías de la información para ayudar a automatizar la gestión de bases de datos, el manejo de productos intermedios, la integración de subprocesos y la aplicación de controles de calidad; esto con la finalidad de mejorar la eficiencia y los tiempos invertidos en estas actividades.

Algunos de las acciones específicas que se identifican es el fortalecimiento de capacidades en el uso y manejo de software para la gestión de base de datos, integración de procesos y el desarrollo de plataformas de usuario.

Además de estas actividades, también se valora la cooperación técnica entre países como estrategia de fortalecimiento de capacidades; ya que la colaboración entre especialistas de la región, permite un intercambio y fortalecimiento de capacidades continua que ha ayudado a identificar insumos y enfoques que han retroalimentado y robustecido al sistema MRV de México. Por lo que se aprovecha para resaltar la importancia de este instrumento.

## 14. REFERENCIAS

- Bustamante, M. M., Roitman, I., Aide, T. M., Alencar, A., Anderson, L. O., Aragão, L., Asner, G. P., Barlow, J., Berenguer, E., & Chambers, J. 2016. Toward an integrated monitoring framework to assess the effects of tropical forest degradation and recovery on carbon stocks and biodiversity. *Global Change Biology*, 22(1), 92-109.
- Castillo, P., Lehtonen, P., Simula, M., Rosa, V., & Escobar, R. 1989. Proyecciones de los principales indicadores forestales de México a largo plazo (1988-2012). *Reporte interno. Subsecretaría forestal. Cooperación México-Finlandia. SARH. México.*
- Challenger, A., & Soberón, J. 2008. Los ecosistemas terrestres. In *Capital natural de México* (Vol. 1, pp. 87-108). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- CONAFOR. (ear. *Propuesta del nivel de referencia de las emisiones forestales de México*. Retrieved from Jalisco, México:
- CONAFOR. 2017. *Estrategia Nacional para REDD+ 2017-2030. ENAREDD+*. Jalisco, México.: Comisión Nacional Forestal
- CONAFOR. (ear. *Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Informe de Resultados 2009-2014*. Retrieved from Jalisco, México:
- CONAFOR. 2019. *Estado que Guarda el Sector Forestal en México 2019*. Jalisco, México: Comisión Nacional Forestal.
- De Jong, B., Maser, O., Etchevers, J., Martínez, R. D., Paz, F., Olguín, M., Anaya, C., Balbontín, C., Motolinia, M., & Guerrero, G. (ear. *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1993 a 2002. Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Bosques* (0378-1127). Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112710004664>
- DOF. 2005. *Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable*. México, DF: Diario Oficial de la Federación. Última Reforma 05-06-2018.
- DOF. 2018a. *Ley General de Cambio Climático*. México: Diario Oficial de la Federación. Última Reforma DOF 13-07-2018.
- DOF. 2018b. *Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable*. México, DF: Diario Oficial de la Federación. 05-06-2018.
- Ellis, E. A., Romero Montero, A., & Hernández Gómez, I. U. (ear. *Evaluación y mapeo de los determinantes de deforestación en la Península Yucatán*. Retrieved from México, DF:
- Ellis, E. A., Romero Montero, J. A., Hernández Gómez, I. U., Porter-Bolland, L., & Ellise, P. W. 2017. Private property and Mennonites are major drivers of forest cover loss in central Yucatan Peninsula, Mexico. *Land Use Policy*, 69, 474-484.
- FAO. 2010. *Global forest resources assessment 2010*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. 2014. *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2015. Informe Nacional. México*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. 2016. *Global Forest Resources Assessment 2015: How are the World's Forests Changing?* (Second edition ed.). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gaucin, D. O. 2014. Sequía en México y Estados Unidos de América: diferencias esenciales de vulnerabilidad y enfoques en la atención al fenómeno. *Frontera norte*, 26, 3.
- Gebhardt, S., Wehrmann, T., Ruiz, M. A. M., Maeda, P., Bishop, J., Schramm, M., Kopeinig, R., Cartus, O., Kellndorfer, J., Ressler, R., Santos, L. A., & Schmidt, M. 2014. MAD-MEX: Automatic Wall-to-Wall Land Cover Monitoring for the Mexican REDD-MRV Program Using All Landsat Data. *Remote Sensing*, 6(5), 3923-3943.
- GOFC-GOLD. (ear. *A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation*. Retrieved from
- Gómez-Mendoza, L., & Galicia, L. 2010. Temperate forests and climate change in Mexico: from modelling to adaptation strategies. *Climate change and Variability. SCIYO, Croatia*, 195-210.
- INECC-CONAFOR. 2018. Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero para el sector Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura 1990-2015. In INECC-SEMARNAT (Ed.), *México Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 (INEGYCEI)* (pp. 427-457). Ciudad de México, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología México.

- INECC-SEMARNAT. (ear. *Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático*. Retrieved from
- INECC-SEMARNAT. 2018a. *México Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 (INEGYCEI)*. Ciudad de Mexico, Mexico: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología México.
- INECC-SEMARNAT. 2018b. *México. Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Ciudad de Mexico, Mexico: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología México.
- INEGI-CONABIO-INE (Cartographer). 2008. Ecorregiones Terrestres de México'. Escala 1:1000000. México. . Retrieved from <http://www.beta.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionemex/index.jsp>
- INEGI. 2005. *Guía para la interpretación de cartografía: uso de suelo y vegetación*. Ags., México.: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. 2013. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1: 250 000. Serie V (continuo nacional). In: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
- INEGI. 2016a. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1: 250 000. Serie VI. Capa Unión. In: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
- INEGI. 2016b. Marco geoestadístico nacional. In: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. 2017a. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1: 250 000. Serie VI. Conjunto Nacional. In. Aguascalientes, México: Dirección General de Geografía. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
- INEGI. 2017b. *Guía para la interpretación de cartografía Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250, 000. Serie VI*. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- IPCC. 2003. *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas sobre uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug, T., Kruger D., Pipatti R., Buendía L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds): Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES.
- IPCC. 2006. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4 Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra*. (H. S. Eggleston, Buendía L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. Ed. Vol. 4). Hayama, Japan: Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES).
- IPCC. 2019. Glossary. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Masera, O., Ordóñez, M. d. J., & Dirzo, R. 1992. Emisiones de carbono a partir de la deforestación en México. *Ciencia*, 43, 151-153.
- Masera, O. R., Ordóñez, M. J., & Dirzo, R. 1997. Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios. *Climatic Change*, 35(3), 265-295.
- Menéndez, R. 2007. How are insects responding to global warming? *Tijdschrift voor Entomologie*, 150(2), 355.
- Miranda, F., & Hernández, E. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Botanical Sciences*(28), 29-179.
- Olofsson, P. 2018. Poststratification. *In prep*, 148.
- Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42-57.
- Olofsson, P., Foody, G. M., Stehman, S. V., & Woodcock, C. E. 2013. Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment*, 129, 122-131.
- Paulina Osorio, L., Mas, J.-F., Guerra, F., & Maass, M. 2015. Análisis y modelación de los procesos de deforestación: un caso de estudio en la cuenca del río Coyuquilla, Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2015(88), 60-74.
- Ravindranath, N. H., & Ostwald, M. 2008. *Carbon Inventory Methods Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects* (Vol. 29). Dordrecht: Springer Science + Business Media.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México: México. Editorial Limusa.
- SARH. 1994. *Inventario Nacional Forestal Periódico. Memoria Nacional*. México, D.F: ubsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre.

- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., Halffter, G., González, R., March, I., & Mohar, A. 2017. *Capital natural de México. Síntesis: evaluación del conocimiento y tendencias de cambio, perspectivas de sustentabilidad, capacidades humanas e institucionales*. Ciudad de México, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- SEMARNAP. 1998. *Diagnóstico de la deforestación en México*: Subsecretaría de Recursos Naturales. Unidad del Inventario Nacional De Recursos Naturales.
- Simula, M. 2009. Hacia una definición de degradación de los bosques: análisis comparativo de las definiciones existentes. *Roma, Italia: Departamento Forestal, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)*.
- UNFCCC. (2011). *Report of the Conference of the Parties on its sixteenth session, held in Cancun from 29 November to 10 December 2010*.
- UNFCCC. 2012. Report of the Conference of the Parties on its seventeenth session, held in Durban from 28 November to 11 December 2011. FCCC/CP/2011/9/Add.2. In: United Nations Framework Convention on Climate Change.
- Velázquez, A., Mas, J., Mayorga Saucedo, R., Díaz, J., Alcántara, C., Castro, R., Fernández, T., Palacio, J., Bocco, G., & Gómez-Rodríguez, G. 2002a. Estado actual y dinámica de los recursos forestales de México. *Biodiversitas*, 41(6).
- Velázquez, A., Mas, J. F., Gallegos, J. D., Saucedo, R. M., Alcántara, P. C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E., & Palacio, J. L. 2002b. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta ecológica*(62), 21-37.